

21.7.2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 8月27日

出願番号
Application Number: 特願2003-303234

[ST. 10/C]: [JP2003-303234]

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

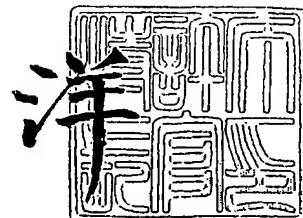
REC'D 10 SEP 2004
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTH155769
【提出日】 平成15年 8月27日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G09C 1/00
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 吉野 學
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 三鬼 準基
【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】 100066153
【弁理士】
【氏名又は名称】 草野 卓
【選任した代理人】
【識別番号】 100100642
【弁理士】
【氏名又は名称】 稲垣 稔
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 002897
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9806848

【書類名】特許請求の範囲**【請求項1】**

送信側で光周波数軸上の少くとも1周期の擬似搬送波をデータ信号に応じて位相変調した強度光周波数特性をもつ光信号を生成して送信し、

受信側で受信光信号を、上記擬似搬送波と同一位相成分と、上記擬似搬送波の位相と逆位相成分とに分離し、それぞれの光強度を検出し、これら検出した光強度に応じて上記データ信号を再生することを特徴とする光通信方法。

【請求項2】

上記擬似搬送波としてi番搬送波と、j番搬送波を用い、

i番搬送波を表わす周期関数はその位相 Θ での値 $C_i(\Theta)$ は周期 $F S R / n$ ($F S R$ は光信号として利用可能な光周波数範囲、nは1以上の整数)で繰り返し $C_i(\Theta) = C_i(\Theta + F S R / n)$ であり、かつ0~1の値をとり、i番搬送波と逆位相シフトのi'番搬送波の位相 Θ での値 $C_{i'}(\Theta)$ が $C_{i'}(\Theta) = 1 - C_i(\Theta)$ であり、

受信側での分離されたi番搬送波とi'番搬送波に対する検出光強度の相対値が有限値 $\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta$, ($\int d\Theta$ は区間 $F S R$ の定積分)であり、j番搬送波を表わす関数の位相 Θ での値 $C_j(\Theta)$ に対し、受信側で分離されたi番搬送波とi'番搬送波に対する検出光強度の相対値が

$\int C_j(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta = 0$ ($C_j(\Theta)$ はj番搬送波の位相 Θ での値)であることを特徴とする請求項1記載の光通信方法。

【請求項3】

上記擬似搬送波は1チップを単位とし、複数のチップで1周期を構成する周期関数であり、上記擬似搬送波としてi番搬送波と、j番搬送波を用い、

i番搬送波を表す周期関数はその位相 Θ での値 $C_i(\Theta)$ は周期 $F S R / n$ ($F S R$ は光信号として利用可能な光周波数幅、nは1以上の整数)で繰り返し $C_i(\Theta) = C_i(\Theta + F S R / n)$ であり、かつ0又は1の値をとり、i番搬送波と逆位相シフトのi'番搬送波の位相 Θ での値 $C_{i'}(\Theta)$ が $C_{i'}(\Theta) = 1 - C_i(\Theta)$ であり、

受信側で分離されたi番搬送波とi'番搬送波に対する検出光強度の相対値が有限値

$\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta))$ 、(\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $F S R / \delta \Theta - 1$ まで加えた区間 $F S R$ の総和)であり、

受信側で分離されたj番搬送波と、i番搬送波とi'番搬送波に対する検出光強度の相対値が

$\sum C_j(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) = 0$ ($C_j(\Theta)$ はj番搬送波の位相 Θ での値)であることを特徴とする請求項1記載の光通信方法。

【請求項4】

上記擬似搬送波を表わす関数は三角関数(を含む関数)であることを特徴とする請求項1又は2記載の光通信方法。

【請求項5】

上記光信号は、上記搬送波を表す関数の位相 Θ での値 $C_i(\Theta)$ 又は/ δ 及び $C_j(\Theta)$ の光強度をデータ信号に応じて強度変調したものであることを特徴とする請求項2~4のいずれかに記載した光通信方法。

【請求項6】

上記擬似搬送波の位相又は/ δ 及び周波数分割により光多重通信を行うことを特徴とする請求項1~3のいずれかに記載の光通信方法。

【請求項7】

伝送データ信号を変調値に変換する信号変調値変換器と、

少くとも1つの光源を備え、上記変調値が入力され、上記光源の出力光の光周波数帯で光周波数軸上の少くとも1周期の擬似搬送波を上記変調値に応じて位相変調した強度光周波数特性を上記出力光に付与する位相変調部と

を具備する光送信装置。

【請求項8】

上記位相変調部は、上記出力光が入力され、上記擬似搬送波を有する光を生成するろ波部と、上記擬似搬送波の位相を上記変調値に応じて変調する変調部とを備えることを特徴とする請求項7記載の光送信装置。

【請求項9】

上記擬似搬送波としてi番搬送波を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_i(\Theta)$ とすると、

$$C_i(\Theta) = C_i(\Theta + FSR/n), \quad (FSR\text{は上記出力光の光周波数幅}, n\text{は1以上の整数})$$

i番搬送波と強度を逆転したi'番搬送波を表わす関数の位相 Θ での強度 $C_{i'}(\Theta)$ とすると、

$$C_{i'}(\Theta) = 1 - C_i(\Theta) \text{ 及び } \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta, \\ (\int d\Theta \text{は区間} FSR \text{の定積分}) \text{ 又は } \sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) \quad (\Sigma \text{は} \Theta = h\delta\Theta \text{として, } h=0 \text{から} FSR/\delta\Theta-1 \text{まで加えた区間} FSR \text{の総和}) \text{ が有限値} \\ \text{であり、}$$

i番搬送波以外のk番搬送波(kはi以外の擬似搬送波の番号)を表す関数の位相 Θ における強度を $C_k(\Theta)$ とすると、

$$C_k(\Theta) = C_k(\Theta + FSR/n), \quad \int C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta = 0 \quad (\int d\Theta \text{は区間} FSR \text{の定積分}) \text{ 又は } \sum C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) = 0 \quad (\Sigma \text{は} \Theta = h\delta\Theta \text{として, } h=0 \text{から} FSR/\delta\Theta-1 \text{まで加えた区間} FSR \text{の総和})$$

であるi番搬送波と対応する光周波数特性を有するろ波器と、

i番搬送波の光、i番搬送波に対し、 FSR/n 以下で位相シフトした1ないし複数の光のいずれかの1つを上記ろ波器を上記変調値に応じて制御して上記位相変調部から出力する変調器とを上記位相変調部は備えることを特徴とする請求項7記載の光送信装置。

【請求項10】

上記擬似搬送波としてi番搬送波を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_i(\Theta)$ とすると、

$$C_i(\Theta) = C_i(\Theta + FSR/n), \quad (FSR\text{は上記出力光の光周波数幅}, n\text{は1以上の整数})$$

i番搬送波と強度を逆転したi'番搬送波を表わす関数の位相 Θ における強度 $C'_{i'}(\Theta)$ とすると、

$$C_{i'}(\Theta) = 1 - C_i(\Theta) \text{ 及び } \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta, \\ (\int d\Theta \text{は区間} FSR \text{の定積分}) \text{ 又は } \sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) \quad (\Sigma \text{は} \Theta = h\delta\Theta \text{として, } h=0 \text{から} FSR/\delta\Theta-1 \text{まで加えた区間} FSR \text{の総和}) \text{ が有限値} \\ \text{あり、}$$

i番搬送波以外のk番搬送波(kはi以外の擬似搬送波の番号)を表す関数の位相 Θ における強度を $C_k(\Theta)$ とすると、

$$\int C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta = 0 \quad (\int d\Theta \text{は区間} FSR \text{の定積分}) \\ \text{又は } \sum C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) = 0 \quad (\Sigma \text{は} \Theta = h\delta\Theta \text{として, } h=0 \text{から} FSR/\delta\Theta-1 \text{まで加えた区間} FSR \text{の総和})$$

であるi番搬送波と対応する光周波数特性を有するi番ろ波器又はその異なるiの値とそれぞれに対応した複数のi番ろ波器と、

i番搬送波以外のj番搬送波を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_j(\Theta)$ とすると、

$$C_j(\Theta) = C_j(\Theta + FSR/n) \text{ であり、}$$

j番搬送波と強度を逆転したj'番搬送波を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_{j'}(\Theta)$ とすると、

$$C_{j'}(\Theta) = 1 - C_j(\Theta) \text{ 及び } \int C_j(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) d\Theta, \\ (\int d\Theta \text{は区間} FSR \text{の定積分}) \text{ 又は } \sum C_j(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) \quad (\Sigma \text{は} \Theta = h\delta\Theta \text{として, } h=0 \text{から} FSR/\delta\Theta-1 \text{まで加えた区間} FSR \text{の総和}) \text{ が有限値で}$$

あり、

j 番搬送波以外の m 番搬送波 (m は i 以外の擬似搬送波の番号) を表す関数の位相 Θ における強度を $C_m(\Theta)$ とすると、

$\int C_m(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) d\Theta = 0$ ($\int d\Theta$ は区間 F S R の定積分)
又は $\sum C_m(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) = 0$ (\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $F S R / \delta \Theta - 1$ まで加えた区間 F S R の総和)

である j 番搬送波と対応する光周波数特性を有する j 番ろ波器又はその異なる j の値とそれぞれに対応する複数の j 番ろ波器と、

上記変調値の第 1 パラメータに応じて上記 i 番ろ波器を制御して、 第 i 番搬送波を有する光と第 i' 番搬送波を有する光とのいずれかを上記位相変調部から出力する第 1 変調器と、

上記変調値の第 2 パラメータにより上記 j 番ろ波器を制御して、 第 j 番搬送波を有する光と第 j' 番搬送波を有する光とのいずれかを上記位相変調部から出力する第 2 変調器とを上記位相変調部は備えることを特徴とする請求項 7 記載の光送信装置。

【請求項 1 1】

上記信号変調値変換器は変調値として上記第 1 及び第 2 パラメータの他に第 3 及び第 4 パラメータも出力し、

上記変調器は、 上記第 1 パラメータにより制御される光又は制御された光の強度を上記第 3 パラメータに応じて、 あらかじめ決めた多値のいずれかの 1 つの値に制御する第 1 振幅変調部と、

上記第 2 パラメータにより制御される光又は制御された光の強度を上記第 4 パラメータに応じて上記多値のいずれかの 1 つの値に制御する第 2 振幅変調部と

を備えることを特徴とする請求項 1 0 記載の光送信装置。

【請求項 1 2】

上記擬似搬送波として i 番搬送波と j 番搬送波を用い、

上記信号変調変換器は、 上記第 1 及び第 3 パラメータの出力を組み合わせた出力と上記第 2 及び第 4 パラメータの出力を組み合わせた出力とを出力し、

上記変調器は、 上記第 1 及び第 3 パラメータの出力を組み合わせた出力に応じて、 上記 i 番搬送波の光の強度をあらかじめ決めた多値のいずれかの 1 つの値に制御する第 1 振幅変調部と、

上記第 2 及び第 4 パラメータの出力を組み合わせた出力に応じて、 上記 j 番搬送波の光の強度をあらかじめ決めた多値のいずれかの 1 つの値に制御する第 2 振幅変調部とを備えることを特徴とする請求項 1 0 記載の光送信装置。

【請求項 1 3】

上記 i 番搬送波の関数は $F S R / n$ を周期とするデュティ比が 50 % の周期関数であり、

1 周期に相当する 2π の剩余として位相シフト量を定義し、 各位相シフト量における $C_i(\Theta)$ は、

$\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + \pi/2) - C_{i'}(\Theta + \pi/2)) d\Theta = \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + 3\pi/2) - C_{i'}(\Theta + 3\pi/2)) d\Theta = 0$ ($\int d\Theta$ は区間 F S R の定積分)
又は $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta + \pi/2) - C_{i'}(\Theta + \pi/2)) = \sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta + 3\pi/2) - C_{i'}(\Theta + 3\pi/2)) = 0$ (\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $F S R / \delta \Theta - 1$ まで加えた区間 F S R の総和)

及び $\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta = \int C_i(\Theta + \pi) (C_i(\Theta + \pi) - C_{i'}(\Theta + \pi)) d\Theta$ 又は $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) = \sum C_i(\Theta + \pi) (C_i(\Theta + \pi) - C_{i'}(\Theta + \pi))$ が零以外の有限値であり、

上記 i' 番搬送波の関数は上記 i 番搬送波に対し位相シフト量が π 異なり、 上記 j 番搬送及び上記 j' 番搬送波は位相シフト量が上記 i 番搬送波に対しそれぞれ $\pi/2$ 及び $3\pi/2$ 異なることを特徴とする請求項 1 0 ~ 1 2 のいずれかに記載の光送信装置。

【請求項 1 4】

上記 $F S R / n$ を 3 以上の整数 L で除した単位光周波数幅をチップ幅とし、上記擬似搬送波を表す関数は上記 $F S R$ の領域で強度 1 のチップと強度 0 のチップとの方形波状関数であり、

上記 i 番搬送波と上記 k 番搬送波は同一光周波数位置で共に強度 1 となるチップ数と、同一光周波数位置で i 番搬送波が強度 1 となり k 番搬送波が強度 0 となるチップ数とが等しく、

上記 j 番搬送波と上記 m 番搬送波は同一光周波数位置で共に強度 1 となるチップ数と、同一光周波数位置で j 番搬送波が強度 1 となり m 番搬送波が強度 0 となるチップ数とが等しいことを特徴とする請求項 10～12 のいずれかに記載の光送信装置。

【請求項 15】

上記擬似搬送波の関数は強度 $C_i(\theta)$ が $F S R / n$ を周期とする三角関数に 1 を加えて 2 で除した関数であり、

上記 i' 番搬送波は上記 i 番搬送波に対し位相が π 異なり、上記 j 番搬送波及び上記 j' 番搬送波は上記 i 番搬送波に対し位相がそれぞれ $\pi/2$ 及び $3\pi/2$ 異なることを特徴とする請求項 10～12 のいずれかに記載の光送信装置。

【請求項 16】

上記擬似搬送波の関数は強度 $C_i(\theta)$ が $F S R / n$ を周期とする三角関数に 1 を加えて 2 で除した関数であり、

上記 i' 番搬送波は上記 i 番搬送波に対して位相が π 異なることを特徴とする請求項 9 記載の光送信装置。

【請求項 17】

上記擬似搬送波番号を区別する位相シフト数 M の倍数かつ 2 の倍数である 1 周期分のチップ数 L で上記光周波数帯 $F S R / n$ を除した単位光周波数幅をチップ幅とし、 $L = M S$ とし、

上記擬似搬送波は、光周波数軸上での L チップで、位相シフト量の番号 P ($P = 0, \dots, M-1$) に S を乗じた $P S$ に 1 から $L/2$ を加えた値の L に関する剩余に相当するチップを透過率 1 とし、それ以外のチップを透過率 0 とすることを少なくとも n 回繰り返す関数であることを特徴とする請求項 9 記載の光送信装置。

【請求項 18】

上記擬似搬送波番号を区別する位相シフト数 4 の倍数かつ 2 の倍数である 1 周期分のチップ数 L で上記光周波数帯 $F S R / n$ を除した単位光周波数幅をチップ幅とし、 $L = 4 S$ とし、

上記 i 番搬送波は $2 S$ チップを透過率 1 とし、それに続く $2 S$ チップを透過率 0 とすることを少なくとも n 回繰り返す関数であり、

上記 i' 番搬送波は上記 i 番搬送波に対して位相が π 異なる関数であり、

上記 j 番搬送波は上記 i 番搬送波に対して位相が $\pi/2$ 異なる関数であり、

上記 j' 番搬送波は上記 i 番搬送波に対して位相が $3\pi/2$ 異なる関数であることを特徴とする請求項 10～12 のいずれかに記載の光送信装置。

【請求項 19】

伝送データ信号を変調値に変換する信号変調値変換器と、

組み合わせて光信号として利用可能な光周波数範囲 $F S R$ の光を送出する複数の光源を備え、

上記変調値が入力され、上記複数の光源の出力光の光周波数帯で光周波数軸上の少なくとも 1 周期の擬似搬送波を上記変調値に応じて位相変調強度光周波数特性を上記出力光に付与するために上記複数の光源の出力光強度を変調する位相変調部とを具備し、

上記複数の光源は上記利用可能な光周波数範囲 $F S R$ を自然数 n で除した $F S R / n$ の光周波数帯を 3 以上の整数 L で除した単位光周波数幅をチップ幅とし、 $n L$ のチップに対応する光周波数の光を出力する少なくとも $n L$ 個の光源からなり、

上記位相変調部は、上記変調値に応じて、請求項 9 で規定された i 番搬送波の光、 i 番搬送波に対して $F S R / n$ 以下で位相シフトされた 1 ないし複数の光の何れか 1 つか又は

請求項10で規定されたi番搬送波を有する光とi'番搬送波を有する光のいずれかとj番搬送波を有する光とj'番搬送波を有する光のいずれかとの組み合わせの光を出力するように上記nL個の光源の入力又は出力を制御する位相変調部である

ことを特徴とする請求項7記載の光送信装置。

【請求項20】

上記擬似搬送波番号を区別する位相シフトの数をMとし、上記LをMの倍数かつ2の倍数とし、かつLをMS（Sは1以上の整数）とし、

上記位相シフト量 $2\pi P$ （P=0, ..., M-1）の上記擬似搬送波は光周波数軸上で上記位相シフト量の番号PにSを乗じたPSに1からL/2を加えた値のLに関する剩余に相当するチップに相当する光源が1に相当する光を出力し、それ以外のチップに相当する光源が0に相当する光を出力することを少なくともn回繰り返す関数であり、

上記変調値に応じて上記位相シフト量の番号Pに応じて上記擬似搬送波で1となるチップに対応するnMS/2の光源の入力又は出力を制御する変調器を上記位相変調部が備えることを特徴とする請求項19記載の光送信装置。

【請求項21】

利用可能な光周波数帯FSRのn（nは1以上の整数）分の1を3以上の整数Lで除した単位光周波数幅をチップ幅とし、上記FSRをチップ分割し、請求項10で規定されたi番搬送波及びj番搬送波をそれぞれ表す関数は上記FSRの領域で強度1のチップと強度0のチップとの方形波状関数であり、

上記i番搬送波とk番搬送波（kはi以外の擬似搬送波番号）は同一光周波数位置で共に強度1となるチップ数と、同一光周波数位置で上記k番搬送波が強度0となるチップ数とが等しい関係であるj番搬送波に対応するnLチップの光を出力する1以上の第1光源と、

上記j番搬送波とm番搬送波（mはj以外の擬似搬送波番号）は同一光周波数位置で共に強度1となるチップ数と、同一光周波数位置で上記m番搬送波が強度0となるチップ数とが等しい関係にあるj番搬送波に対応するnLチップの光を出力する1以上の第2光源とを上記位相変調部は上記光源として備え、

上記変調値の第1パラメータに応じて上記第1の光源の入力又は出力を制御して、第i番搬送波を有する光と第i'番搬送波を有する光とのいずれかにて上記第1の光源から光を出力させる第1変調器と、

上記変調値の第2パラメータに応じて上記第2の光源の入力又は出力を制御して、第j番搬送波を有する光と第j'番搬送波を有する光とのいずれかにて上記第2の光源から光を出力させる第2変調器と、

上記第1変調器により制御された第1光源よりの光と上記第2変調器により制御された第2光源よりの光とを合成する合成器とを上記位相変調部は備えることを特徴とする請求項19記載の光送信装置。

【請求項22】

上記Mを4とし、上記Lを4S（Sは1以上の整数）とし、

上記i番搬送波は2Sチップに相当する光源の出力光の強度を1とし、それに続く2Sチップに相当する光源の出力光の強度を0とすることを少なくともn回繰り返し、

上記i'番搬送波は上記i番搬送波に対して位相が π 異なり、

上記j番搬送波は上記i番搬送波に対し位相が $\pi/2$ 異なり、

上記j'番搬送波は上記i番搬送波に対し位相が $3\pi/2$ 異なり、

上記変調値の第1パラメータに応じて上記i番搬送波又は上記i'番搬送波の強度1のチップに対応する光源から光を出力させる第1変調器と、

上記変調値の第2パラメータに応じて上記j番搬送波又は上記j'番搬送波の強度1のチップに対応する光源から光を出力させる第2変調器と、

これら出力させられた2つの光を合成する合成器とを上記位相変調部は備えることを特徴とする請求項19記載の光送信装置。

【請求項23】

上記第1変調器により出力させられる光又は出力させられた光の強度を上記変調値の第3パラメータに応じてあらかじめ決めた多値のいずれか一つの値に制御する第1振幅制御部と、

上記第2変調器により出力させられる光又は出力させられた光の強度を上記変調値の第4パラメータに応じてあらかじめ決めた多値のいずれか一つの値に制御する第2振幅制御部と

を備えることを特徴とする請求項21又は22記載の光送信装置。

【請求項24】

上記信号変調値変換器は、上記第1及び第3パラメータの出力を組み合わせた出力と上記第2及び第4パラメータの出力を組み合わせた出力とを出力し、

上記変調器は、上記第1変調器により出力させられる光又は出力させられたi番搬送波の光の強度を、上記第1及び第3パラメータの出力を組み合わせた出力に応じて、あらかじめ決めた多値のいずれかの1つの値に制御する第1振幅変調部と、

上記第2変調器により出力させられる光又は出力させられた上記j番搬送波の光の強度を、上記第2及び第4パラメータの出力を組み合わせた出力に応じて、あらかじめ決めた多値のいずれかの一つの値に制御する第2振幅変調部と

を備えることを特徴とする請求項21又は22記載の光送信装置。

【請求項25】

請求項9～24のいずれかに記載した光送信装置がK個（Kは2以上の整数）設けられ

これら第1～第K光送信装置にそれぞれ第1～第Kデータ信号系列が上記データ信号として入力され、

上記第1～第K光送信装置における上記nはそれぞれ1～Kであり、

上記第1～第K光送信装置よりの出力光が合成器で合成されて光伝送路に出力されることを特徴とする光送信装置。

【請求項26】

少くとも利用可能な光周波数幅FSRをろ波対象とし光周波数軸上で基準となる基準光周波数からの光周波数差を位相とし、位相θでの透過率Ci(θ)が FSR/n (n:1以上の整数)で繰り返す $C_i(\theta) = C_i(\theta + FSR/n)$ の周期関数のろ波特性を持つi番ろ波器と、

位相θでの透過率が $C_{i'}(\theta)$ が $1 - C_{i'}(\theta)$ であり、かつ $\int C_i(\theta) (C_i(\theta) - C_{i'}(\theta)) d\theta$ ($\int d\theta$ は区間FSRでの定積分)又は $\sum C_i(\theta) (C_i(\theta) - C_{i'}(\theta))$ (Σ は $\theta = h \delta \theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta \theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)が有限値であり、

i番ろ波器以外のk番ろ波器(kはi以外のろ波器の番号)のろ波特性を表す関数の位相θでの透過率が $C_k(\theta)$ とすると、 $C_k(\theta) = C_k(\theta + FSR/n)$ 、 $\int C_k(\theta) (C_i(\theta) - C_{i'}(\theta)) d\theta = 0$ ($\int d\theta$ は区間FSRでの定積分)又は $\sum C_k(\theta) (C_i(\theta) - C_{i'}(\theta)) = 0$ (Σ は $\theta = h \delta \theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta \theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)である i' 番搬送波と対応するろ波特性を持つ i' 番ろ波器とを、含め、

基準光周波数からの波長差に所定の波長を加えたに相当するとしてあらかじめ定めた位相の数がM(Mは2以上の整数)であり、

上記i番ろ波器及び上記*i'*番ろ波器のろ波特性に対し、それぞれ周期P/M(P=0～(M-1))シフトしたろ波特性をもつ、i番ろ波器と*i'*番ろ波器のM組と、

光受信信号を上記M組のi番ろ波器と上記*i'*番ろ波器とに分岐する分岐器と、

M個の上記i番ろ波器の透過光の強度を検出するi番検出器と、

M個の上記*i'*番ろ波器の透過光の強度を検出する*i'*番検出器と、

M組の上記i番検出器の検出出力と上記*i'*番検出器の検出出力との相対値を検出するM個の比較器と、

M個の比較器の出力から送信データ信号を復元する信号変換器と

を具備する光受信装置。

【請求項27】

少くとも利用可能な光周波数幅FSRをろ波対象とし光周波数軸上で基準となる基準光周波数からの光周波数差を位相とし、位相 Θ での透過率 $C_i(\Theta)$ が FSR/n (n:1以上の整数)で繰り返す $C_i(\Theta) = C_i(\Theta + FSR/n)$ の周期関数のろ波特性を持つ*i*番ろ波器と、

位相 Θ での透過率が $C_{i'}(\Theta)$ が $1 - C_i(\Theta)$ であり、かつ $\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta$ ($\int d\Theta$ は区間FSRでの定積分)又は $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta))$ (Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta\Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)が有限値であり、

*i*番ろ波器以外の*k*番ろ波器(*k*は*i*以外のろ波器の番号)のろ波特性を表す関数の位相 Θ での透過率を $C_k(\Theta)$ とすると、 $C_k(\Theta) = C_k(\Theta + FSR/n)$ 、 $\int C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta = 0$ ($\int d\Theta$ は区間FSRでの定積分)又は $\sum C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) = 0$ (Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta\Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)であるろ波特性を持つ*i'*番ろ波器と、

位相 Θ での透過率 $C_j(\Theta)$ が $C_j(\Theta) = C_j(\Theta + FSR/n)$ の周期関数のろ波特性を持つ*j*番ろ波器と、

位相 Θ での透過率が $C_{j'}(\Theta)$ が $1 - C_j(\Theta)$ であり、かつ $\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) d\Theta$ ($\int d\Theta$ は区間FSRでの定積分)又は $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta))$ (Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta\Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)が有限値であり、

*j*番ろ波器以外の*m*番ろ波器(*m*は*j*以外のろ波器の番号)のろ波特性を表す関数の位相 Θ での透過率を $C_m(\Theta)$ とすると、 $C_m(\Theta) = C_m(\Theta + FSR/n)$ 、 $\int C_m(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) d\Theta = 0$ ($\int d\Theta$ は区間FSRでの定積分)又は $\sum C_m(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) = 0$ (Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta\Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)であるろ波特性を持つ*j'*番ろ波器と、

光受信信号を上記*i*番ろ波器、上記*i'*番ろ波器、上記*j*番ろ波器、上記*j'*番ろ波器と分岐する分岐器と、

上記*i*番ろ波器の透過光の強度を検出する*i*番検出器と、

上記*i'*番ろ波器の透過光の強度を検出する*i'*番検出器と、

上記*j*番ろ波器の透過光の強度を検出する*j*番検出器と、

上記*j'*番ろ波器の透過光の強度を検出する*j'*番検出器と、

上記*i*番検出器の検出出力と上記*i'*番検出器の検出出力との相対値を検出する第1比較器と、

上記*j*番検出器の検出出力と上記*j'*番検出器の検出出力との相対値を検出する第2比較器と、

上記第1比較器の出力及び上記第2比較器の出力から送信データ信号を復元する信号変換器と

を具備する光受信装置。

【請求項28】

上記 FSR/n を3以上の整数*L*で除した単位光周波数幅をチップ幅とし、上記各ろ波器のろ波特性関数は上記FSRの領域で透過率が1のチップと0のチップとよりなり、

上記*i*番ろ波器と*k*番ろ波器(*k*は*i*以外のろ波器番号)は同一光周波数位置で共に透過率1となるチップ数と、同一光周波数位置で*i*番ろ波器が透過率強度1となり上記*k*番ろ波器が透過率0となるチップ数とが等しく、

上記*j*番ろ波器と*m*番ろ波器(*m*は*j*以外のろ波器番号)は同一光周波数位置で共に強度1となるチップ数と、同一光周波数位置で*j*番ろ波器が透過率強度1となり上記*m*番ろ波器が透過率0となるチップ数とが等しく、

上記*i'*番ろ波器及び上記*j'*番ろ波器ではそれぞれ上記*i*番ろ波器及び*j*番ろ波器が透過率1のチップで透過率が0で、透過率0のチップで透過率が1であることを特徴とす

る請求項27記載の光受信装置。

【請求項29】

上記*i*番ろ波器のろ波特性関数は強度 $C_i(\Theta)$ が、 $C_i(\Theta) = C_i(\Theta + FSR/n)$ の周期関数であり、

1周期に相当する 2π の剩余として位相シフト量を定義し、各位相シフト量における $C_i(\Theta)$ は、

$\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + \pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) d\Theta = \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + 3\pi/2) - C_i'(\Theta + 3\pi/2)) d\Theta = 0$ ($\int d\Theta$ は区間FSRの定積分) 又は $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta + \pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) = \sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta + 3\pi/2) - C_i'(\Theta + 3\pi/2)) = 0$ (\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta\Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)

及び $\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_i'(\Theta)) d\Theta = \int C_i(\Theta + \pi) (C_i(\Theta + \pi) - C_i'(\Theta + \pi)) d\Theta$ 又は $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_i'(\Theta)) = \sum C_i(\Theta + \pi) (C_i(\Theta + \pi) - C_i'(\Theta + \pi))$ が零以外の有限値であり、

上記*i*番ろ波器のろ波特性関数の位相シフト量を0とすると、上記*i'*番ろ波器のろ波特性関数は位相シフト量 π であり、上記*j*番ろ波器及び上記*j'*番ろ波器の各ろ波特性関数はそれぞれ位相シフト量 $\pi/2$ 及び $3\pi/2$ であり、

上記信号変換器はその2つの入力の組み合せのとり得る4つの状態に応じてデータ0と1の組み合せの4つ中の対応する一つを出力するものであることを特徴とする請求項27記載の光受信装置。

【請求項30】

上記各ろ波器のろ波特性関数はそれぞれ FSR/n を周期とする三角関数に1を加えて2で除した関数であり、

かつ上記*i'*番ろ波器のろ波特性関数は上記*i*番ろ波器に対し位相が π 異なり、また上記*j*番ろ波器及び上記*j'*番ろ波器のろ波特性関数は上記*i*番ろ波器のろ波特性関数に対し位相がそれぞれ $\pi/2$ 及び $3\pi/2$ 異なることを特徴とする請求項26又は27又は29記載の光受信装置。

【請求項31】

上記各ろ波器はあらかじめ定めた位相シフトの数Mの各位相シフト量 $2\pi P$ ($P = 0, \dots, M-1$) と、上記位相シフト量 $2\pi P$ と π ずれた位相シフト量に対応する各M個のろ波器からなり、

あらかじめ定めた位相シフトの数Mの倍数かつ2の倍数である1周期分のチップ数Lにnを乗じた値 nL をチップ数とし、

nL で上記光周波数帯FSRを除した単位光周波数幅をチップ幅とし、 $L = MS$ とし、一方のM個の上記ろ波器のろ波特性関数は、光周波数軸上のLチップで位相シフト量の番号P ($P = 0, \dots, M-1$) にSを乗じたPSに1から $L/2$ を加えた値のLに関する剩余に相当するチップを透過率1とし、それ以外のチップを透過率0とすることを少なくとも n 回繰り返す関数であり、

他方のM個の上記ろ波器のろ波特性関数は、光周波数軸上のLチップで位相シフト量の番号P ($P = 0, \dots, M-1$) にSを乗じたPSに1から $L/2$ を加えた値のLに関する剩余に相当するチップを透過率0とし、それ以外のチップを透過率1とすることを少なくとも n 回繰り返す関数であることを特徴とする請求項26記載の光受信装置。

【請求項32】

$L = 4S$ とし、

上記*i*番ろ波器のろ波特性関数は、2Sチップを透過率1とし、それに続く2Sを透過率0とすることを少なくとも n 回繰り返す関数であり、

上記*i'*番ろ波器のろ波特性関数は上記*i*番ろ波器のろ波特性関数に対し、位相が π 異なり、

上記*j*番ろ波器のろ波特性関数は上記*i*番ろ波器のろ波特性関数に対し位相が $\pi/2$ 異なり、

上記 j' 番ろ波器のろ波特性関数は上記 j 番ろ波器のろ波特性関数に対し位相が $3\pi/2$ 異なり、

上記信号変調器はその2つの入力の組み合わせのとり得る4つの状態に応じてデータ0と1の組み合わせの4つの内の対応する1つを出力するものであることを特徴とする請求項26又は27記載の光受信装置。

【請求項33】

上記第1比較器よりの差検出出力をデジタル値に変換する第1A/D変換器と、
上記第2比較器よりの差検出出力をデジタル値に変換する第2A/D変換器とを備え

、
上記信号変換器は入力された、上記第1A/D変換器よりのあらかじめ決めた多値のいずれかの一つのデジタル値と上記第2A/D変換器よりの上記多値のいずれかの一つのデジタル値との取り得る組み合せとに対応して4個以上のデータ0又はデータ1の取り得る組み合せ中の対応する一つを出力するものであることを特徴とする請求項27～32記載の光受信装置。

【請求項34】

請求項26～32のいずれかに記載した光受信装置がK個（Kは2以上の整数）設けられ、

これら第1～第K光受信装置に受信光信号が分岐器により分岐入力され、
上記第1～第K光受信装置における上記nはそれぞれ1～Kであることを特徴とする光受信装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】光通信方法、光送信装置、光受信装置

【技術分野】

【0001】

この発明は、擬似的なM P S K (Multi Phase Shift Keying)、Q P S K (Quadrature Phase Shift Keying)あるいはQ A M (Quadrature Amplitude Modulation)変調を適用した光通信方法、その光送信装置、光受信装置、これらの装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の光通信方法は2値データ信号で光信号を断続させる強度（振幅）変調を行っている。また非特許文献1に示すようにある波長を基準とした波長軸上での擬似ランダム符号を生成して波長拡散光通信を行うことも知られている。

【非特許文献1】 T.Pfeiffer他著 Electronics Letters vol.33 No.25 pp 2441-2442, 1997, "High Speed optical network for asynchronous multiuser access applying periodic spectral coding of broadband sources"

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

光通信において位相を用いた変調を実現するためには、 μ メートルオーダの波長と比べて十分正確なオーダである數十分の1の数十ナノメートルオーダの精度で单一波長（光周波数）の光信号の位相を制御する必要があり、実現が困難であり、M P S K、Q P S K、Q A Mと呼ばれる位相変調を用いた光通信が実現されていない。

【課題を解決するための手段】

【0004】

この発明によれば送信側で光周波数（波長）軸上で周期関数の擬似搬送波に対し、M P S K、Q P S K、Q A Mなどの位相変調をした強度光周波数（波長）特性をもつ光信号を生成して送信し、受信側で光周波数（波長）軸上で互いに直交関係にある周期関数の擬似搬送波の強度光周波数（波長）特性をもつ光信号成分を分離し、これら分離された光信号成分の強度差を検出して送信側の変調信号データを再生する。

【発明の効果】

【0005】

この発明によれば擬似搬送波を制御して所望の光変調信号を得ているため、その制御は、光信号に対し、数十ナノメートルオーダの精度で制御する場合と比較して著しく粗い制御精度でよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

以下この発明の実施形態を、各種の実施例と図面により詳細に説明する。

【実施例1】

【0007】

この発明の方法を適用した実施例1の光通信システムを図1に示す。光送信装置100では入力端子101よりの伝送信号、一般2値データ系列信号をそのV個（Vは1以上の整数）ごとのデータに応じた1周期未満の位相シフト（位相シフト量）系列又は変調位相系列に信号位相量変換器110で変換する。光源120からの光信号を、光周波数（波長）軸上であらかじめ決めた光周波数（波長）を基準として擬似搬送波の位相を信号位相量変換器110より各位相量に位相変調部130でシフトする。擬似搬送波を以下では単に搬送波ということもある。例えば図2に示すように、データ系列をV=2個ずつのデータに分割し、その異なるデータ組ごとに異なる位相シフト量、つまり基準位相0に対しづらされた位相量（以下、位相シフト量はこのことを意味する）を割り当てる。例えばデータ組(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)のそれぞれを、1周期未満の位相量0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ に変換する。

【0008】

前記擬似搬送波として、基準光周波数 f_s からの光周波数差を位相 f とすると 400GHz を 1 周期 Δ とし、強度を変数とする三角関数に 1 をくわえて 2 で除した関数を想定すると、位相量 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ は図 2 (a) ~ (d) に示すように波長即ち光周波数が 100GHz づつ順次シフトした光周波数特性となる。

【0009】

擬似搬送波の周期 Δ の n 倍を FSR、つまり $\Delta = n \text{FSR}$ ($n = 1, 2, \dots$) とすると、光源 120 は、少なくとも FSR の光周波数幅の光信号を出力する。位相変調部 130 の出力光信号は $((1 + \cos(2\pi f_n / \text{FSR} + \Theta)) / 2$ 、位相シフト量 $\Theta = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ のいずれかとなる。

【0010】

光受信装置 200 では受信光が分配器 210 で位相シフト量 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ とそれに対応した 4 つのろ波器 221, 222, 223, 224 に分配され、ろ波器 221, ..., 224 の各透過光の強度が検出器 231, ..., 234 で検出される。互いに半周期位相がシフトした（ずれた）ろ波器の強度を検出した検出器 231 と 233, 232 と 234 の各出力が比較器 241, 242 で互いに引き算される。比較器 241, 242 の出力から、擬似搬送波の位相シフト量と対応したデータ組に符号信号変換器 250 で変換して復号データ系列として出力される。

【0011】

図 3 に、この実施例の光源 120 の波長特性とパルス光源とした場合の強度時間特性、各位相シフト量 Θ に応じた変調部 130 の光出力（光送信装置 100 の光出力）、受信装置 200 の各ろ波器のろ波特性、各位相シフト量での各ろ波器による透過強度特性、各検出器の検出強度の時間変化の例を示す。各図の最左の列は光源 120 の出力光であり、出力光の光周波数（波長）幅を 400GHz とし、出力光がその全波長にわたり平坦な強度を想定している。図 3-1 から図 3-4 の各左から 2 列目に、それぞれ位相シフト量 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に対応した、位相変調部 130 の出力光の光周波数特性を示す。図 3 の左から 3 列目は、光受信装置 200 のろ波器 221, 223, 222, 224 のろ波特性を示す。図 3-1 ~ 図 3-4 毎の変調部出力光を受けた場合の各ろ波器 221, 223, 222, 224 を透過した透過光の波長特性を図 3 の左から 4 列目にそれぞれ示す。図 3 の最右列は、検出器 231, ..., 234 で検出する強度の時間変化を示す。これら図 3 に示されるように、光源出力光のパワーを 1 とすると、位相変調部 130 における基準に対する位相シフト量に応じた変調部出力光と同一のろ波特性を有するろ波器の検出器強度は 0.375 となり（図 3-1 では 1 行目、図 3-2 では 2 行目）、それとろ波特性が π ずれたろ波器に対応する検出器強度は 0.125 となり、両者を比較する比較器では、 0.25 の出力が得られる。一方、位相変調部 130 における基準に対する位相シフト量の出力光の特性に対し、ろ波特性が $\pi/2$ 及び $3\pi/2$ それぞれずれたろ波器の検出器強度はそれぞれ 0.25 である（図 3-1 では 2 行目と 4 行目、図 3-2 では 3 行目と 1 行目）、このためこれら検出器出力を比較する比較器では 0 の出力が得られる。

【0012】

検出器及び比較器が波長毎に透過光強度を検出して比較しない場合、つまりろ波器の透過光の各光パルス分の光強度を比較する場合における比較器強度について以下に示す。

位相変調部 130 の出力を次式で表す。

$$(1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f / \text{FSR} + \Theta)) / 2) df$$

ここで、 f は基準光周波数からの光周波数差を意味する。ここでは $n = 1$ としている。

【0013】

(1) 位相変調部 130 の入力位相シフト量に応じた位相変調部出力光の光周波数特性と同一のろ波特性を有するろ波器に対応する比較器出力の場合：

$$(1/2) \pi \int ((1 + \cos(2\pi f / \text{FSR} + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2\pi f / \text{FSR} + \Theta)) / 2) df - (1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f / \text{FSR} + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2\pi f / \text{FSR} + \Theta)) / 2) df$$

$$\begin{aligned} & \pi f / F S R + \Theta + \pi)) / 2) d f \\ & = (1 / 8 \pi) \int (1 + \cos 2(2 \pi f / F S R + \Theta) + 2 \cos(2 \pi f / F S R + \Theta)) d f = 0.25 \end{aligned}$$

【0014】

(2) 位相変調部130の入力位相シフト量に応じた位相変調部出力光の光周波数特性と位相が $\pi/2$ 異なるろ波特性を有するろ波器に対応する比較器出力の場合：

$$\begin{aligned} & (1 / 2 \pi) \int ((1 + \cos(2 \pi f / F S R + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2 \pi f / F S R + \Theta + \pi/2)) / 2) d f \\ & - (1 / 2 \pi) \int ((1 + \cos(2 \pi f / F S R + \Theta)) / 2) ((1 + \cos(2 \pi f / F S R + \Theta - \pi/2)) / 2) d f \\ & = (1 / 8 \pi) \int (-2 \sin(2 \pi f / F S R + \Theta) + \sin(2 \pi f / F S R + \Theta)) d f = 0 \end{aligned}$$

【0015】

なお、この実施例では、擬似搬送波が取り得る位相シフト量（位相シフト値）の数Mが偶数の4でありこれら位相シフト量（位相シフト値）は順次、 $\pi/2$ 異ならせたので受信側で、Mと同数のろ波器を用いているが、擬似搬送波が取り得る位相シフト量（値）が互いに π ずれた関係にない場合は、擬似搬送波が取り得る位相シフト量（値）の出力光とそれぞれ同特性のろ波器とそれと半周期（ π ）位相がシフトした特性のろ波器とを用いる。従って光受信装置200では2M個のろ波器と、Mと同数の比較器が必要となる。この場合はMの値は任意であるが、位相変調部130が搬送波に与える位相シフト量（位相シフト値）が三角関数の1周期での剩余がそれぞれ異なる位相シフト量（位相シフト値）である必要がある。

【0016】

また、この実施例では光源120の出力光の光周波数特性が平坦であることを仮定しているが、平坦でなく例えばガウシアンである場合は、送信側位相変調部又は受信側ろ波器又は比較器又は符号変換器において、各光周波数の強度を平準化するように重みをつければよい。

【0017】

また、この実施例では単一の光送信装置100と光受信装置200の組合せを示したが、他の光送信装置と光受信装置とが同一の光伝送路300を共用する場合にも適用でき、その場合に以下の設定とする。

【0018】

1) 光送信装置における基準光周波数f_sがF S R以上ずれている場合：F S Rも取り得る位相シフト量（位相シフト値）も任意。

2) 光送信装置における基準光周波数f_sがF S R未満のずれの場合：同一のF S Rで、用いる光源120の光周波数は同一であり、光送信装置のF S Rの外の光周波数に対しても同一光伝送路を共用する他の光送信装置で用いる光周波数域もろ波の対象として連続的にろ波するろ波器であること。搬送波の周期F S R/nの値が光送信装置毎に異なるか、周期F S R/nの値が同一であれば、位相変調部130で変調する位相シフト量（シフト値）の数を0位相も含めてMとおくと基準波長λ_sにF S R/n/Mを加えた値が全光送信装置でユニークな値となること。ただし、同一のnを異なる光送信装置と受信装置の組が用いる場合は1/4周期ずれのみ直交するのでMは4となり、半周期ずれたものは同一光送信装置と受信装置の組が用いる。

【0019】

1) の場合、複数の光送信装置で用いる基準光周波数f_sがF S R以上離れている場合は、使用する光周波数が異なるため、擬似搬送波によらず、搬送波間で干渉しない。

2) の場合、複数の光送信装置で用いる基準光周波数f_sが同一である場合、使用する光周波数が一致する。しかし、各光送信装置が用いる擬似搬送波の周波数は、F S Rの自然数分の1であるため、相互の内積をF S Rの区間で積分すると零となり、相互に直交し、搬送波間で干渉しない。

【0020】

複数の光送信装置で用いる基準光周波数 f_s が FSR 以下で異なる場合、搬送波の関数が FSR での周期関数であるため、FSR の外の光周波数に対しても擬似搬送波と同じ関数で変調するろ波器を用い、光源の光周波数がほぼ同一であれば、相互の内積の積分は零となり、相互に直交し搬送波間で干渉しない。

この実施例で用いる位相変調部 130 は図 1 中に示すように、ろ波器 131 とそのろ波特性を変化させる変調器 132 とにより構成される。

【0021】

例えば、図 4 (a) に示すようにろ波器 131 としては光をカプラ 131a により所定の光路長差を有する二組の光路 131b と 131c に分岐してカプラ 131d により再度合波するマッハツエンダ干渉計を用い、変調器 132 としてはマッハツエンダ干渉計の一方の方路 131b に設けられ、光路長差を変調するものを適用することができる。方路 131b と 131c を通った光はカプラ 131d で干渉し、方路長差に応じた光周波数間隔の成分が出力される。この出力光の光周波数特性は周期的であるため、出力する光の周波数（波長）差を例えば 100 GHz とすれば図 2 (a) に示す合波特性が得られる。このようにマッハツエンダ干渉計のように周期的に光周波数をろ波するろ波器 131 を用いれば、基準光周波数 f_s が FSR 以下で異なる場合も、干渉を除去することができる。

【0022】

光路長の変更例としては、LN 变調器と同様に、例えば図 4 (b) に示すように電気光学効果を有する LiNbO₃ 結晶による（プレーナ光波回路）基板 131e 上に 2 本の光導波路 131f と 132g を構成し、その両端部を互いに接近させてカプラ 131h と 131i とし、電気光学効果を用いて電界による複屈折率変化により二組の方路の遅延差を変更するために、少なくとも一方の方路を構成する光導波路 131f に電界を印加するための電極 131j を設ければよい。電極 131j により光導波路 131f に印加する電圧と各設定位相シフト量（値）に応じた光周波数がマッハツエンダ干渉計を透過するように調整する。この場合、ろ波器 131 と変調器 132 が組み合わされていることになるため図 1 に示したようにろ波器 131 と変調器 132 は直列接続でなく、一体の構成部品となる。つまり変調器 132 はろ波器 131 に組み込まれる。

【0023】

光送信装置 100 における信号位相量変換器 110 は例えば図 1 中に示すように、入力端子 101 からのデータ系列は直並列変換器 110a によりこの例では 2 系列に分配され、直並列変換器 110a からの 2 系列の 2 つのデータが D/A 変換器 110b によりその入力データの組み合せ (0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1) に応じてデジタル値 0, 1, 2, 3 にそれぞれ変換され、例えばこれらの値に応じた大きさの電圧が図 4 (b) 中の電極 131j に印加される。これらの印加電圧値に応じて、位相変調部 130 の出力光の擬似搬送波の位相が図 2 (a) ~ (d) に示すように変化する。

【0024】

また光送信装置 100 中のろ波器 131 は光源 120 からの光の周波数で少なくともその光周波数幅 FSR をろ波し、そのろ波特性、つまり透過率（光強度）－光周波数特性は、基準光周波数 f_s からの光周波数差を位相とした場合に、各位相の透過率（光強度）が、FSR を自然数 n で除した周期の三角関数に 1 を加えて 2 で除した関数に従うものである。

【0025】

光受信装置 200 における符号信号変換器 250 は例えば図 1 中に示すように比較器 241, 242 の各出力 0 又は 1 が並直列変換器 251 に並列に入力され、1 系列のデータ信号として出力端子 201 に出力される。光送信装置 100 の入力端子 101 に入力された伝送信号が、出力端子 201 に復元出力されることになる。

【0026】

このようにこの実施例は、正負の極性を有し、搬送波の間に相關がない搬送波を、光周波数軸上で所望の周波数の繰り返しで切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強

度変調で模擬するために、擬似搬送波の周期の自然数倍の光周波数幅の広帯域な光を用い、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルする差動検出を行うことで、同一光周波数の光を用いる場合でも、有限の光周波数幅では直交しない三角関数に起因する擬似搬送波同士の相関を除去して、相関のない搬送波を模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した任意の制御精度でのM P S Kを実現することができる。

【実施例2】

【0027】

実施例1では、位相変調部130において、ろ波器131がろ波した光又はろ波する光の擬似搬送波の位相を変調器132で制御した。この実施例2では例えば図5に示すように、変調時の変調量である位相シフト量（値）に応じた光周波数をろ波する複数のろ波器133a, 133b, 133c, 133dを具備し、これらろ波器133a～133dに光源120からの光が光分岐器134により分岐入力される。これらろ波器133a～133dの透過光が変調器131により変調位相量（値）に応じて選択出力される。例えばろ波器133a～133dは図2(a)～(d)にそれぞれ示すろ波特性、つまり搬送波の位相が 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ の特性をもち、これらろ波器133a～133dの各透過光は変調器132を構成する光スイッチ135a～135dへ入力される。信号位相量変換器110において直並列変換器110aの出力の2つのデータがデコーダ110cによりデコードされ、データ組 $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, $(1, 1)$ にそれぞれ応じて出力端子111a, 111b, 111c, 111dに出力が生じ、出力端子111a～111dの各出力によりスイッチ135a～135dの対応する1つがオンにされる。スイッチ135a～135dの出力光は合波器136を通じて伝送路300へ出力される。

【0028】

図5中に破線で示すように変調器132のスイッチ135a～135d部分を分岐器134とろ波器133a～133dとの間に挿入し、ろ波器133a～133dの透過光を合波器136で合波してもよい。分岐段及び合波段とともに、変調器132として、選択したろ波器にのみ光源からの光を入力し、選択したろ波器からの光を透過させる変調器であってもよい。

【0029】

この実施例2は実施例1と異なり、光路長差を変調すべき切り替え時間で切り替えられる素材を選択しなくてもよい効果がある。なお光受信装置200は図1に示した構成のものを用いることができる。擬似搬送波が取り得る位相シフト量（値）の数Mが4の場合を例としたがMは任意とすることができる。

【実施例3】

【0030】

実施例3では位相シフト量が π ずれた擬似搬送波の二つを一組として用い、位相シフト量が互いに $\pi/2$ ずれた擬似搬送波の異なる組が伝送信号の2つのデータ組の異なるものと対応付ける。実施例3が適用される通信システムの例を図6(a)に示す。光源120、ろ波器に対する条件は実施例1、2の場合と同様である。各組をなす2つのろ波器はそのろ波特性の位相シフト量が π 異なる、即ち、それぞれの透過光周波数がFSR/2/nずれている。本実施例で用いる擬似搬送波をi番搬送波とすると、各組の特性関数は $C_i(\Theta)$ 又は $C_i(\Theta + \pi)$ 及び $C_i(\Theta + \pi/2)$ 又は、 $C_i(\Theta + 3\pi/2)$ となり、 $\int d\Theta$ を区間FSRの積分とすると次式が成立つ。

$$\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + \pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) d\Theta = \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + 3\pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) d\Theta = 0$$

$$\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_i'(\Theta)) d\Theta = \int C_i(\Theta + \pi) (C_i(\Theta + \pi) - C_i'(\Theta + \pi)) d\Theta$$

【0031】

図7aにQPSKの信号点を、図7bにQPSKを模擬する場合の信号データ組と、座

標点と選択ろ波位相の組の例を示す。ここで組数 $M/2 = 2$ とし、一方の組の位相シフトが 0 と π 、他方の組の位相シフトが $\pi/2$ と $3\pi/2$ とし、図7(a)に単位円上で示している。位相シフトが 0 と π の組の 0 と π はx軸上の 1 と -1 にそれぞれ相当し、位相シフトが $\pi/2$ と $3\pi/2$ の組の $\pi/2$, $3\pi/2$ はy軸上の 1 と -1 に相当する。座標点はx軸の値を括弧内における左に、y軸の値は括弧内の右にそれぞれ記載した信号、位相量変換器110よりのデータ値 $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, $(1, 1)$ により位相シフト $(1, 1)$, $(1, -1)$, $(-1, 1)$, $(-1, -1)$ がそれぞれ指定され、1変調毎に伝送信号2ビット(データ)を表すことができる。

【0032】

位相変調部130は、信号位相量変換器110よりのデータ組の一方、図7(b)の例では上位ビット(データ)の0又は1に応じて、0位相シフト又は π 位相シフトの擬似搬送波の光と、下位ビット(データ)の0又は1に応じて $\pi/2$ 位相シフト又は $3\pi/2$ 位相シフトの擬似搬送波の光とを出力する。

【0033】

図6(a)に示す例では図5と同様に各擬似搬送波対応のろ波器133a～133dが設けられ、0相のろ波器133aと π 相のろ波器133cとが組とされ、 $\pi/2$ 相のろ波器133bと $3\pi/2$ 相のろ波器133dとが組とされる。変調器132aと132bとして切替スイッチが設けられ、信号位相変換器110の直並列変換器110aの上位ビットにより変調器132aのスイッチが制御され、この上位ビット(データ)が“0”であれば変調器132aのスイッチは0相ろ波器133aに接続され、“1”であれば π 相ろ波器133cに接続される。直並列変換器110aの下位ビット(データ)により変調器132bとしてのスイッチが制御され、この下位ビットが“0”であれば $\pi/2$ 相ろ波器133bに接続され、“1”であれば $3\pi/2$ 相ろ波器133dに接続される。これら変調器132a, 132bとしての各切替スイッチにより切替え出力された各ろ波器の透過光は合波器136を通じて光伝送路300へ出力される。

【0034】

変調器132a, 132bとしてはどのろ波器に光を入力するか選択するようにしてもよい。つまり図6(b)に示すように光源120よりの光を分岐器134により2分岐し、その一方の分岐器を変調器132aとしてのスイッチにより0相ろ波器133aと π 相ろ波器133cに切替え入力し、他方の分岐光を変調器132bとしてのスイッチにより $\pi/2$ 相ろ波器132bと $3\pi/2$ 相ろ波器132dに切替え入力し、ろ波器133a～133dの各透過光を合波器136を通じて光伝送路300へ出力してもよい。ろ波器133a～133dの入力側と出力側ともに、切替スイッチの変調器として、選択したろ波器にのみ光源からの光を入力し、選択したろ波器からの光を透過させるようにしてもよい。

【0035】

この実施例と対応する光受信装置は図1に示したものと同様の構成とすることができる。ただし比較器241と242は+1又は-1を出力するため図1中の光受信装置200中に破線枠で示すように変換部241a, 242aにより、比較器241, 242の出力中の-1を0として符号変換器250へ供給する。これにより符号変換器250から光受信装置100の入力伝送信号系列と同一の信号系列が得られることは容易に理解されよう。

【0036】

このようにして、光の波長オーダの制御精度を緩和した任意の制御精度でのQPSKを実現することができる。光受信装置100のろ波器として、1つ又は2つを用い、2つの変調器132aと132bにより、実施例1で示したように、光路差を制御してもよい。

【実施例4】

【0037】

16QAMを模擬したもので、この実施例4では16種類のデータ組に応じて光源からの光を、位相が半周期(π)ずれた擬似搬送波に模擬する二つを一組とした二組で、各組

の擬似搬送波は互いに位相シフト量が4分の1周期 ($\pi/2$) 異なり直交する位相シフト関係にあり、これら4つの擬似搬送波の光強度（振幅）を2値のいずれにした光信号を合波伝送する。

【0038】

実施例4の構成例を図8に示す。0相、 $\pi/2$ 相、 π 相、 $3\pi/2$ 相の4つの擬似搬送波生成用ろ波器133a～133dを用いた場合である。光源120、ろ波器133a～133dに対する条件は実施例3のそれと同様である。

【0039】

図9(a)に16QAMの座標(x軸を実数部、y軸を虚数部とした)上の信号点とデータ組を示し、図9(b)に各データ組に対する擬似搬送波の位相シフトと光強度（振幅）との関係を示す。例えばデータ組が(0000)の場合、模擬搬送波の位相シフトが0で光強度が3の光と、位相シフト $\pi/2$ で強度が3の光を伝送路300に出力し、データ組が(0101)の場合、擬似搬送波の位相シフトが0で強度が3の光と、位相シフトが $3\pi/2$ で強度が1の光を光伝送路300へ出力する。端子101よりの伝送信号系列を信号位相振幅量変換器140で4データの組ごとに図9(b)に示す位相シフトと強度を示す位相振幅情報に変換し、光源120よりの光を、位相振幅変調部150で前記位相振幅情報に応じた擬似搬送波位相及び光強度の2つの光信号に変調して光伝送路300へ出力する。

【0040】

信号位相振幅量変換器111では例えば直並列変換器110bにより、入力伝送信号系列が4つの信号系列に分けられる。位相振幅変調部150はこの例では擬似搬送波の位相シフトが0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ の各ろ波器133a, 133b, 133c, 133dと2つの変調器151及び152と、合波器136とにより構成される。直並列変換器110bよりの4つの信号系列から順次1ビットを取り出した各4ビット(データ)組ごとに、変調器151では4データ組の最上位(図9(b)の最も左側)のデータにより切替スイッチ151aが制御され、スイッチ151aはデータが0で0相ろ波器133aに、データが1で π 相ろ波器133cに接続され、このスイッチ151aよりの出力光は、振幅変化部151bでデータ組中の上位から3番目のデータにより強度が制御され、データが0で強度3に、1で強度1にされて合波器136へ出力される。変調器152では4データ組の上位から2番目のデータにより切替スイッチ152aが制御され、スイッチ152aはデータが0で $\pi/2$ 相ろ波器133bに接続され、データが1で $3\pi/2$ 相ろ波器133dに接続され、スイッチ152aよりの出力光は振幅変化部152bでデータ組中の最下位データにより強度が制御され、データが0で強度3に、1で強度1にされて合波器136に出力される。

【0041】

図10に示すように、光源120とろ波器133a～133dとの間に変調器151及び152を挿入してもよい。この場合は光源120よりの光を分岐器134で2分岐し、その一方の光を、変調器151でまず振幅変化部151bにより、上位から3番目のデータに応じて強度が3又は1に制御し、その制御された光を、切替スイッチ151aで最上位データにより0相ろ波器133a又は π 相ろ波器133bに切り替え出力する。分岐器134よりの他方の光を、変調器152でまず振幅変化部151bにより、最下位データに応じて強度が3又は1に制御し、その制御された光を、切替スイッチ152aで上位から2番目のデータにより $\pi/2$ 相ろ波器133b又は $3\pi/2$ 相ろ波器133dに切り替え出力する。

【0042】

ろ波器の各2組について、その入力光を3番目のデータ、最下位データによりそれぞれ振幅変化部151b, 152bで強度制御し、各2組のろ波器中の何れかの選択を、最上位データ、2番目のデータにより切替スイッチ151a, 152aでそれぞれ行って出力してもよい。逆に光源からの光を2つの切替スイッチ151a, 152aにより、各組のろ波器の何れかに入力し、各組のろ波器の出力光を、それぞれ振幅変化部151b, 152bで強度制御して、各組のろ波器の出力光を合波する。

2 b で強度制御して出力してもよい。

【0043】

光受信装置200は図1に示したろ波器221～224、検出器231～234、比較器241、242とそれぞれ同様のものが用いられるが、符号変換器250の代りに、比較器241、242の各出力の極性(正負)を含む2つのレベル(強度)、つまり各4つのレベルに対した4個のデータ組に変換して直列に出力する符号変換器260が用いられる。つまり比較器241、242の出力としては、図9(b)に示す3, 1, -1, -3の何れかが出力され、これらの組み合せと対応して、図9(b)中のデータ組が出力される。

【0044】

このような符号変換器260としては例えば図8中の光受信装置200中に示すように、比較器241、242の各出力はA/D変換器261、262でそれぞれサイン(符号)を含む3ビットのデジタル値に変換され、これら3ビット、(全部で6ビット)のデジタル値をアドレスとして変換メモリ265を読み出せば、図9(b)に示した対応関係をもつ4ビットのデータ組が出力され、出力データ組を並直列変換器266で直列データに変換して出力端子201へ出力する。なお、変換メモリ265にはアドレスと読み出されるデータの関係を図9(b)に示す比較器出力とデータ組の関係が得られるように予め記憶しておくものとする。

【0045】

このようにしてこの実施例4は、実施例1と同様に、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数軸上で所望の周波数の繰り返しで切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬するために、模擬搬送波の周期の自然数倍の光周波数幅の広帯域な光を用い、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルする差動検出を行うことで、同一光周波数を用いる場合でも、有限の光周波数幅では直交しない三角関数に起因する擬似搬送波同士の相関を除去して、相関のない搬送波を模擬し、互いに直交する複数の模擬搬送波を半周期で強度変調し、同時に伝送することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した任意の制御精度でのQAMを実現することができる。

【実施例5】

【0046】

前記実施例では擬似搬送波として光周波数(波長)軸上でアナログ的に変化するものを用いたが、実施例5は擬似搬送波として、光周波数(波長)軸上でデジタル的に断続されるものを用いる。光送信装置100は図11に示すように、信号位相量変換器110、光源120からの光を光周波数(波長)軸上で複数のチップに分割して透過するろ波器137と、変調器132とからなる。

【0047】

光源120が出力する光の光周波数幅をFSRとする。

ろ波器137は、光源120の光を受けて、光源120の出力する光の光周波数で少なくとも光周波数幅FSRをろ波し、光源からの光周波数幅FSRの光を、4の倍数であるL個のチップに光周波数軸上で分割してそのチップを選択的に透過する。以下のようにろ波器の光を透過するチップの選択を位相の値にマッピングする。ここでL/4の約数をSとする。図12にろ波特性の例を示す。

【0048】

位相0のろ波器137a:連続する2Sチップをオンとしその次の2Sチップをオフとししまで繰り返しろ波する。

位相π/2のろ波器137b:連続するSチップをオフとしその次の2Sチップをオンとしその次のSチップをオフとししまで繰り返しろ波する。

位相πのろ波器137c:連続する2Sチップをオフとしその次の2Sチップをオンとししまで繰り返しろ波する。

位相3π/2のろ波器137d:連続するSチップをオンとしその次の2Sチップをオフとしその次のSチップをオンとししまで繰り返しろ波する。

【0049】

つまりこれらろ波器137a, 137b, 137c, 137dは、光周波数（波長）軸上で4Sチップ相当のFSR/nを周期とし、その周期の1/2の幅の2Sチップ相当のFSR/2n、つまり π 幅で0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ それぞれの位相シフトで各周期において光を透過させるろ波特性である。従ってこれらろ波器137a, 137b, 137c, 137dを透過した光は、光周波数（波長）軸上でFSR/nを周期とする擬似搬送波が π 幅の方形波、つまりデュティ比が50%でそれぞれ0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ に位相変調されたものとなる。

【0050】

この実施例5ではこのような位相の擬似搬送波2つと、2個のデータの組とを対応づけてQPSK変調を可能とする。この実施例5ではろ波器137a, …, 137dを0, …, $3\pi/2$ にそれぞれ対応づけているから、図6(a)に示した光送信装置100と同様に信号位相量変換器110よりの2個のデータにより変調器132a, 132bにより、それぞれ0相ろ波器137aの出力光が π 相ろ波器137cの出力光、 $\pi/2$ 相ろ波器137bの出力光が $3\pi/2$ ろ波器137dの出力光をそれぞれ選択して、合波器136を通じて光伝送路300へ出力すればよい。

【0051】

図6(b)に示したように、変調器132a, 132bをろ波器137a～137dの入力側へ挿入してもよい。ろ波器137a～137dの入力側と出力側とにそれぞれ変調器を挿入してもよい。

【0052】

この実施例5における光受信装置200は、図1中に示した光受信装置200のろ波器221～224の代りに、ろ波器137a～137dとそれぞれ同一ろ波特性の0相ろ波器225、 $\pi/2$ 相ろ波器226、 π 相ろ波器227、 $3\pi/2$ 相ろ波器228を用い、その他は図1の光受信装置と同一構成とすればよい。従って対応する構成には、図1で付けた参考番号と同一番号を図8に付けて示した。

【0053】

図13-1～図13-4に、この実施例5の光源120の光周波数特性とパルス光源とした場合の光の強度一時間特性、各位相に応じた変調器出力（送信装置の出力）、受信装置の各ろ波器のろ波特性、擬似搬送波の各位相での送信出力に対する受信装置の各ろ波器による透過出力、各検出器で検出する強度の時間変化の例をそれぞれ示す。各図中の最左の列は光源出力である。ここで、光源120の光周波数幅を400GHzとし、光源の出力の全光周波数にわたり平坦な強度を想定し基準光周波数f_sからの光周波数差で示している。図13-1～図13-4はそれぞれの変調器による位相シフト0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ にそれぞれ対応した変調器出力を左から2列目に示す。左から3列目は、光受信装置200に具備するろ波器225～228のろ波特性である。各図13-1～図13-4ごとに、そこに示す変調器出力を受けた場合の各ろ波器225～228を透過する光周波数特性を左から4列目にそれぞれ示す。最右列は、各検出器231～234で受信する検出強度の時間変化である。

【0054】

各図13-1～図13-4に示されるように、全チップ透過時の検出器でのパワーを1とすると、変調器出力の光周波数特性と同一のろ波特性を有するろ波器と対応する検出器強度は0.5となり、変調器出力の光周波数特性と π ずれたろ波特性のろ波器に対応する検出器強度は0となり、これら両者を比較する比較器では、0.5の出力が得られる。変調器出力の光周波数特性に対し、ろ波特性がそれぞれ π 及び $3\pi/2$ ずれたろ波器と対応する各検出器強度はそれぞれ0.25であるため、これら両者を比較する比較器では0の出力が得られる。

【0055】

ここで、各チップの光周波数軸上の透過特性は、矩形であることが望ましいが、図中のチップの弁別の容易さから三角形にて示している。但し、全チップ透過時の検出器での

パワーを1として規格化しているため、光周波数軸上の透過特性が三角であっても、ガウス分布であっても一般性を失うことなく実施例5は動作する。図11では単一の光送信装置100と光受信装置200の組合せしか示していないが、他の光送信装置と光受信装置とが同一の光伝送路300を同一の光周波数で共用する際は、異なるLの値を選択する。Lは位相シフトの数Mに対応する4の倍数であり、かつ光周波数帯を構成するチップ数を任意の整数nで除した値である。Sの値は、Lを位相シフトの数M即ち4で除した値である。Lチップ毎に、位相シフト量の番号P（P=0, 1, 2, 3（0は位相シフト0, 1は位相シフト $\pi/2$, 2は位相シフト π , 3は位相シフト $3\pi/2$ に対応する。即ち $2\pi P/M$ （M=4）である。））にSを乗じたPSに1から $L/2$ を加えた値のlに関する剩余に相当するチップを透過率1とし、それ以外のチップを透過率0とすることを少なくともn回繰り返す。即ちLの剩余をMOD（値、L）とすると、（Q-1）L+MOD（PS+1, L）～（Q-1）L+MOD（PS+L/2, L）でQを1から上記nまで変化させた番号となるチップの透過率を1とし、残りのチップの透過率を0とする。ここで選択したLの値とそれに対応するnの値との積は一定であるため、受信側の差動検出により、擬似搬送波同士の内積がFSRの区間で積分すると零となり、受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルすることができる。

【0056】

なお、実施例5で用いるろ波器が、FSRの外の光周波数に対しても擬似搬送波と同じ関数でかつFSRでの周期関数に従うろ波器であり、同一光伝送路を共用する他の光送信装置が用いる光周波数域もろ波の対象とするならば、相互の内積のFSRでの積分は零となり、相互に直交し搬送波間で干渉しない。

【0057】

この実施例5で用いるろ波器としては例えば、図14に示されるものを用いる。これは遅延線11により光路長が異ならされた二組の方路12と13、光を二組の方路12と13に合分波するカプラ14、一方の方路に挿入された位相シフタ15を多段縦続接続した多段マッハエンダ干渉計にて構成される。このろ波器による選択波長は、例えばJournal of Lightwave technology, vol. 13, No. 1, 1995, pp73-82「synthesis of coherent two-port lattice form optical delay-line circuit」Jingui He著に示されるように任意のチップを選択して透過させることができる。

【0058】

このようにして実施例5では、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数が広帯域な光を光周波数軸上で所望の周波数の繰り返し切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した任意の制御精度でのQPSKを実現することができる。

【実施例6】

【0059】

実施例5で述べたように、光周波数（波長）軸上で擬似搬送波を0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ のいずれかの位相シフトに、幅 π のチップ連で位相変調し、図6に示したと同様の手法によりQPSK変調を模擬することができる。本実施例で用いる擬似搬送波をi番搬送波とすると、各組の特性関数は $C_i(\theta)$ 又は $C_i(\theta + \pi)$ 及び $C_i(\theta + \pi/2)$ 又は $C_i(\theta + 3\pi/2)$ となり Σ を $\theta = h\delta\theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta\theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和とすると、次式が成立つ。

$$\sum C_i(\theta) (C_i(\theta + \pi/2) - C_i'(\theta + \pi/2)) = \sum C_i(\theta) (C_i(\theta + 3\pi/2) - C_i'(\theta + 3\pi/2)) = 0$$

$$\sum C_i(\theta) (C_i(\theta) - C_i'(\theta)) = \sum C_i(\theta + \pi) (C_i(\theta + \pi) - C_i'(\theta + \pi))$$

【0060】

実施例5で示した擬似搬送波を用い、図8を参照して説明した実施例4の手法と同様にして、QAM変調を模擬することは容易に理解されよう。このQAM変調の場合は、図8中に括弧書きで示すように、光送信装置100においては、ろ波器133a

～133dの代りにろ波器137a～137dを用い、信号位相振幅変換器111からのデータ組中の2ビットに応じて、変調器151でろ波器137aと137cの一方の選択と、光強度を1又は3のいずれかに制御し、データ組中の他の2ビットに応じて変調器152で、ろ波器137bと137dの一方の選択と、光強度を1又は3のいずれかに制御する。光受信装置200ではろ波器221～224の代りにろ波器225～228を用い、その他は変更する必要はない。変調151, 152の挿入位置などについても実施例4と同様のことがいえる。またこの実施例6の効果などは実施例5と同様の理由により同様に得られる。

【0061】

また実施例5で示した擬似搬送波を用いて、任意のMシフトのいずれかの位相シフトに、幅 π の方形波で位相変調して、MPSK変調を模擬することができる。

【0062】

即ち位相シフトの数がMである場合、一周期分のチップ数であるLは、Mの倍数であり、かつ2の倍数であり、光周波数帯FSRを構成する全チップをnで除した値となる。L=MSとすると、Lチップ毎に、位相シフト量の番号P (P=0, ..., M-1, 1周期を 2π とすると位相シフト量は $2\pi P/M$ と表わされる) にSを乗じたPSに1からL/2を加えた値のLに関する剩余に相当するチップを1とし、それ以外のチップを0とすることを少なくともn回繰り返す。即ちLの剩余をMod (値、L) とすると、(Q-1)L+Mod (PS+1, L) ~ (Q-1)L+Mod (PS+L/2, L) でQを1から上記nまで変化させた番号となるチップを1とし、残りのチップを0とする。

従って、nの異なるi番搬送波とk番搬送波(kはi以外の搬送波番号)に対応する擬似搬送波の関数をそれぞれCi (Θ), Ck (Θ)とし、 Σ を $\Theta = h \delta \Theta$ として、h=0からFSR/ $\int \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和とし、Pを零以外の有限値とすると次式が成立つ。

$$\sum_i (C_i (\Theta) (C_i (\Theta) - C_{i'} (\Theta)) = P, \quad \sum_k C_k (\Theta) (C_i (\Theta) - C_{i'} (\Theta)) = 0$$

【0063】

この実施例で、光周波数帯FSRを構成する全チップ数n L=24で、M=3の例を以下に示す。LはMの倍数であり、かつ2の倍数であり、かつ24の約数であるので、24か12か6となり、nはそれぞれ1, 2, 4、Sはそれぞれ8, 4, 2となる。(n, L, M, S)=(1, 24, 3, 8)と(2, 12, 3, 4)の場合を図18に示す。図で、薄墨色が1のチップを意味する。(n, L, M, S)=(1, 24, 3, 8)の場合図18Aの1番目に示すように、位相シフト0 (P=0) でチップ1番目a=(1-1) 24+Mod (0・8+1, 24) から12番目b=(1-1) 24+Mod (0・8+2 4/2, 24) まで1、位相シフト $2\pi \cdot (1/3)$ (P=1) で、図18Bの1番目に示すようにチップ9番目a=(1-1) 24+Mod (1・8+1, 24) から20番目b=(1-1) 24+Mod (1・8+2 4/2, 24) まで1、位相シフト $2\pi \cdot (2/3)$ (P=2) で図18Cの1番目に示すようにチップ1番目から4番目とチップ17番目から24番目まで1、つまりa=(1-1) 24+Mod (2・8+1, 24) ~ b=(1-1) 24+Mod (2・8+2 4/2, 24) 番目がチップ1となる。(n, L, M, S)=(2, 12, 3, 4)の場合、図18A～Cの各2番目に示すように位相シフトP=0で、かつQ=1でチップ1番目a=(1-1) 12+Mod (0・4+1, 12) から6番目b=(1-1) 12+Mod (0・4+1 2/2, 12) までと、Q=2でチップ13番目c=(2-1) 12+Mod (0・4+1, 12) から18番目d=(2-1) 12+Mod (0・4+1 2/2, 12) まで1、Q=2で位相シフト $2\pi \cdot (1/3)$ (P=1)、かつQ=1でチップ5番目a=(1-1) 12+Mod (1・4+1, 12) から10番目b=(1-1) 12+Mod (1・4+1 2/2, 12) までとQ=2で17番目c=(2-1) 12+Mod (1・4+1, 12) から22番目d=(2-1) 12+Mod (1・4+1 2/2, 12) まで1、位相シフト $2\pi \cdot (2/3)$ (P=2) かつQ=1でチップ1番目から2番目とチップ9番目から12番目と、Q=2

でチップ13番目から14番目とチップ20番目から24番目まで1、つまり $Q=1$ で $a = (1-1) \cdot 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 1, 12) \sim b = (1-1) \cdot 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 12/2, 12)$ 番目が1、 $Q=2$ で $c = (2-1) \cdot 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 1, 12) \sim d = (2-1) \cdot 12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 12/2, 12)$ 番目が1となる。この実施例でも図から明らかなように、 n が異なる他方の信号を受けても受信装置側で擬似搬送波間の干渉はキャンセルされ、それぞれ独立に受信可能である。

【0064】

この実施例の光送信装置のろ波器は例えば、図5でろ波器131が、0相、 π 相、 $\pi/2$ 相、 $3\pi/2$ 相の4相の代わりに、0相、 $2\pi/3$ 相、 $4\pi/3$ 相の3相のろ波器を具備する。この実施例の光受信装置は、0相、 π 相、 $\pi/2$ 相、 $3\pi/2$ 相の4相ろ波器と π 位相シフト量の異なるろ波器に接続する検出器出力同士を比較する二組の比較器の代わりに、0相、 $2\pi/3$ 相、 $4\pi/3$ 相の各ろ波器と、それぞれと π 位相シフト量の異なる π 相、 $5\pi/3$ 相、 $\pi/3$ 相のろ波器と、 π 位相シフト量の異なるろ波器に接続する検出器出力同士を比較する3組の比較器を具備している。

このようにして、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数が広帯域な光を光周波数軸上で所望の周波数の繰り返し切出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した任意の制御精度でMPSKを実現することができる。

【実施例7】

【0065】

図8中の光送信装置100中の π 相ろ波器133c(137c)と $3\pi/2$ 相ろ波器133d(137d)を省略し、これに伴い変調器151, 152中の切替スイッチ151a, 152aを省略して0相ろ波器133a(137a), $\pi/2$ 相ろ波器133b(137b)をそれぞれ変調器151, 152中の振幅変化部151b, 152bに接続し、信号位相振幅量変換器111は信号振幅量変換器112とし、2個のデータ組とし、一方のビット(データ)と他方のビット(データ)を変調器151, 152に対応づけて光強度を0で3に、1で1に制御するようとする。光受信装置200では、符号変換器260において比較器241, 242の出力強度が3であればデータ0、強度が1であればデータ1とし、これらを直列に出力する。

【0066】

このようにすれば実施例4で述べた光周波数(波長)軸上の三角関数の擬似搬送波に対しても、実施例6で述べた光周波数(波長)軸上の方形波状擬似搬送波に対しても、図9(a)中の第1象限の4つの信号点とするQAM変調を行うことができる。

【0067】

用いる2組のろ波器を133b(137b)と133c(137c), 133c(137c)と133d(137d), 133a(137a)と133d(137d)のいずれかにすることにより図9(a)中の第2象限、第3象限、第4象限のいずれかの信号点のQAM変調とすることができる。なお比較器241, 242の出力が負の時は、その絶対値が3でデータ0に、1でデータ1に変換する。

【実施例8】

【0068】

この発明の実施例8の光送信装置100を $L=4S$ の例である図15を参照して説明する。この実施例8は光周波数軸上でFSR/n、ここでは $n=1$ としてFSRを周期とし、各周期における0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ の位相シフト量のそれぞれで2Sチップの光周波数の光を出力する複数の光源を用いて、実施例5又は実施例6で行ったQPSK又はQAM変調を可能とするものである。

各チップの波長の光源を二組ずつ用い、各光源は、光の送出強度を制御でき、合計 L の2倍の $2L$ 個の光源を備える。

【0069】

$2L$ 個の光源の内、各4Sチップの光周波数を送出する L 個の光源は、位相0又は位相

π の搬送波を模擬するために用いる。即ち、光周波数軸上の各周期の最初の連続する光周波数の各Sチップ、つまり0相Sチップを出力する光源120aと、次のSチップ、つまり $\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120bとの出力光により、0相搬送波を模擬しその次のSチップ、つまり π 相Sチップを出力する光源120cと、その次のSチップ、つまり $3\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120dとの出力光により、 π 相搬送波を模擬する。また残りのL個の光源により $\pi/2$ 相搬送波又は $3\pi/2$ 相搬送波を模擬するために用いる。即ち、光周波数軸上の各周期の初めのSチップの次のSチップつまり $\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120eとその次のSチップ、つまり π 相Sチップを出力する光源120fとの出力光により $\pi/2$ 相搬送波を模擬し、その次のSチップ、つまり $3\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120gと、その次のSチップ、つまり0相Sチップを出力する光源120hとの出力光により $3\pi/2$ 相搬送波を模擬する。以上n=1の例にて説明したが、nが2以上の整数である場合は、光周波数の順でそのnに対応するSの値でSチップずつ0位相チップ光源、 $\pi/2$ 位相光源、 π 位相光源、 $3\pi/2$ 位相光源に配置すればよい。用い得るnは、使用する光周波数帯をnで除した1周期に相当するチップ数Lとの関係で定まる。Lは位相シフトの数Mの対応する4の倍数であり、Sの値は、Lを位相シフトの数M即ち4で除した値である(L=4S)。Lチップ毎に、位相シフト量の番号P(P=0, 1, 2, 3)にSを乗じたPSに1からL/2を加えた値のLに関する剰余に相当するチップに相当する光源を1とし、それ以外のチップに相当する光源を0とすることを少なくともn回繰り返す。即ちLの剰余をMOD(値、L)とすると、(Q-1)L+MOD(PS+1, L)～(Q-1)L+MOD(PS+L/2, L)でQを1から上記nまで変化させた番号となるチップに相当する光源を1とし、残りのチップに相当する光源を0とすればよい。

【0070】

図15は図9(a)に示したQAM変調を模擬する場合で、端子101からの伝送信号系列は信号位相振幅変換器113で直並列変換器110bにより4系列に分配される。その各4個のデータの組中の上位から3番目のデータ(ビット)(図9に示した各データ組についてのビット順と同一とする)により、切替スイッチ153aを制御してそのデータが0であれば値3が格納されたレジスタ153bを切替スイッチ153dに接続し、そのデータが1であれば値1が格納されたレジスタ153cを切替スイッチ153bに接続し、このスイッチ153dをデータ組の最上位データ(ビット)により制御し、そのデータが0であれば切替スイッチ153aを0相光源120aと $\pi/2$ 相光源120bとに接続し、これら両光源120aと120bから強度3の光が出力され、つまり0相擬似搬送波の光が強度3で出力され、最上位データ(ビット)が1であれば切替スイッチ153aを π 相光源120cと $3\pi/2$ 相光源120dとに接続し、これら両光源120cと120dから強度1の光が出力され、つまり π 相擬似搬送波の光が強度1で出力される。

【0071】

データ組中の最下位データ(ビット)により切替スイッチ154aが制御され、そのデータが0であれば値3が格納されたレジスタ154bを切替スイッチ154dに接続し、データが1であれば、値1が格納されたレジスタ154cを切替スイッチ154dに接続し、切替スイッチ154がデータ組の上位から2番目のデータ(ビット)により制御され、そのデータが0であれば切替スイッチ154aを $\pi/2$ 相光源120eと π 相光源120fとに接続し、両光源120eと120fから強度が3の光が出力され、つまり $\pi/2$ 相擬似搬送波の光が強度3で出力され、データが1であれば、切替スイッチ154aを $3\pi/2$ 相光源120gと0相光源120hとに接続し、これら両光源120gと120hから強度1の光が出力され、つまり $3\pi/2$ 相擬似搬送波の光が強度1で出力される。

【0072】

このようにして、実施例6で図8を参照して説明した光送信装置100と同様の光QAM変調信号を出力することができることは容易に理解されよう。従って光受信装置200としては図7中に示したものと同様のものとすればよい。この図15に示した光送信装置100では光源を直接変調、例えばレーザ光源の駆動電流の大きさを制御すればよく、実

施例6で示したろ波器及び変調器よりなる高価な位相振幅変調部150を必要としない。

【0073】

図15中のスイッチ153aと154aを省略し、レジスタ153b, 154bをそれぞれ切替スイッチ153d, 154dに接続し、切替スイッチ153d, 154dを、図6中の信号振幅量変換器112の2個データの組の各データで切替スイッチ153d, 154dを制御することにより、実施例3で説明したと同様にQPSK変調を行うことができる。また実施例7で説明したと同様に、切替スイッチ153d, 154dを省略して、切替スイッチ153a, 154aを互いに直交関係にある擬似搬送波の光を出力する2組の光源（計4つの光源）にそれぞれ接続して、切替スイッチ153a, 154aを制御することにより、実施例7で説明したQAM変調を行うこともできる。

【0074】

$\pi/2$ 位相シフト量の異なる二つの光源、例えば、0相チップ光源と $\pi/2$ 相チップ光源の2組の光源を用いてQAM変調を行うこともできる。この場合は図15で説明した実施例のQAM変調よりも、位相が半分に減少しているので、実施例7と同様に、図15の実施例の倍の細かさの強度変調とすることにより同じ信号伝送が可能となる。しかも必要とする光源の数が半分でよい効果がある。

【0075】

複数光源を用いてMPSK変調を行うこともできる。この例をM=4の場合につき図15を参照して説明する。この場合は図15の信号位相振幅量変換器113の代わりに図1の信号位相量変換器110を用いる。光周波数上でFSR/nを周期とし、各周期における0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ の位相シフト量のそれぞれ2Sチップの光周波数の光を出力する複数の光源を用いM=4であるので、各位相シフトに応じた擬似搬送波は図15で説明した実施例と同じであり、信号位相量変換器110の出力に応じて、0シフト量に対応する0相チップ光源と $\pi/2$ 相チップ光源から1の光を出力するか、 $\pi/2$ シフト量に対応する $\pi/2$ 相チップ光源と π 相チップ光源から1の光を出力するか、 π シフト量に対応する π 相チップ光源と $3\pi/2$ 相チップ光源から1の光を出力するか、 $3\pi/2$ シフト量に対応する0相チップ光源と $3\pi/2$ 相チップ光源から1の光を出力する。

【0076】

このようにして、ろ波器と変調器よりなる高価な位相変調部を用いることなく、MPSK変調を行うことができる。

更に複数光源を用いかつ光源数を図15の場合より減らしてQPSK変調を行うことができる。図15の実施例では位相0又は位相 π の搬送波を模擬するためと、位相 $\pi/2$ 又は位相 $3\pi/2$ の搬送波を模擬する為とで各nL個、合計2nL個の光源を用いた。各搬送波を出力する同じ光周波数を出力する2光源の代わりに、各搬送波の1又は0の出力を重ねあわせた強度で光を出力することで1光源で代用する。この場合の各チップ光源の出力は以下である。

【0077】

0相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
= (1100)

$\pi/2$ 相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
= (0110)

π 相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
= (0011)

$3\pi/2$ 相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
= (1001)

【0078】

従って、重ねあわせた各チップ光源の出力は以下となる。

0相搬送波+ $\pi/2$ 相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)

= (1 2 1 0)

0相搬送波+ $3\pi/2$ 相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)

= (2 1 0 1)

π 相搬送波+ $\pi/2$ 相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)

= (0 1 2 1)

π 相搬送波+ $3\pi/2$ 相搬送波：

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)

= (1 0 1 2)

このようにして光源数を減少させることは前述した複数光源を用いたMPSK変調にも同様に適用可能である。

【0079】

このようにして図15の実施例に比べて半分に光源の数を削減でき、かつ図15の場合より光源数を減らした前記QAM変調よりも強度変調のきざみ幅を大きくすることができ、それだけノイズの影響に強い効果がある。

【実施例9】

【0080】

この実施例9は上述した各実施例を含み、擬似搬送波をより一般化したものであり、この例ではQAM変調に適用した場合である。これを適用した通信システムの例を図16を参照して説明する。図16中の図8と対応する部分には同一参照番号を付けてある。

【0081】

光送信装置100にi番ろ波器161、i'番ろ波器161' と、j番ろ波器162、j'番ろ波器162'との2組が設けられる。これらろ波器161, 161', 162, 162'は光源120の出力する光の周波数(波長)で少なくともFSRの光周波数幅をろ波する。基準光周波数f_s (=C/λ_s; Cは光速)からの光周波数差を位相fとした場合に、その1組中的一方のi番ろ波器161のろ波特性関数の位相fでの値C_i(f)と、i番ろ波器161と組となるi'番ろ波器161'のろ波特性関数の位相fでの値C_i'(f)は互いに反転値であり、以下の関係が成り立つ。

【0082】

$$C_i(f) + C_{i'}(f) = 1 \quad (1)$$

他の組のj番ろ波器162、j'番ろ波器162'もそのろ波特性は同様の関係がある。ろ波器161, 161', 162, 162'の各ろ波特性関数は前述した擬似搬送波を構成する。

【0083】

この実施例9の光受信装置200は図8中の光受信装置200に対し、用いるろ波器が異なり、その他は同様である。受信対象の光送信装置のi番ろ波器161と同一のろ波特性をもつi番ろ波器271と、i'番ろ波器161' と同一ろ波特性のi'番ろ波器271' と、j番ろ波器162、j'番ろ波器162'をそれぞれ同一ろ波特性のj番ろ波器272、j'番ろ波器272'が用いられる。

【0084】

この構成においては比較器241ではi番ろ波器271の透過光と対応する検出光強度からi'番ろ波器271'の透過光と対応した検出光強度とが比較されることとなり比較器241の出力を、位相fでの値D_i(f)を想定すると次式となる。

$$D_i(f) = C_i(f) - C_{i'}(f) \quad (2)$$

【0085】

検出器231ではi番ろ波器271の透過光の各光周波数成分が全体としての光強度と

して検出される。他の検出器も同様である。従って送信側の i 番ろ波器 161 のろ波特性関数における位相 f での値 $C_i(f)$ と、受信側の i 番ろ波器 271 のろ波特性関数における位相 f での値 $D_i(f)$ との内積を i 番ろ波器 271 のろ波対象に含まれる FSR 分の連続する光周波数領域にわたり積分した値が零でない有限値 P で、次式の関係が成り立つ。

$$\int C_i(f) D_i(f) df = P \quad (3)$$

【0086】

i 番ろ波器のろ波特性関数における位相 f での値 $C_i(f)$ と、 i 番以外の j 番ろ波器のろ波特性関数に対応する比較器の位相 f での値 $D_j(f)$ との内積をろ波器のろ波対象に含まれる FSR 分の連続する光周波数領域にわたり積分した値が零で、次式の関係が成り立つ。

$$\int C_i(f) D_j(f) df = 0 \quad (4)$$

【0087】

従って i 番ろ波器 271 の透過光の強度を検出する検出器 231 の出力から i' 番ろ波器 271' の透過光の強度を検出する検出器 231' を減じた比較器の出力中には j 番ろ波器 162 を透過した光成分は含まれない。このようにして、この実施例 9 は、実施例 4 と同様に、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができる。

【0088】

更に、 i 番ろ波器 161 のろ波特性関数は、光周波数を変数とする周期関数であって、その周期における位相 f で透過率（値） $C_i(f)$ が FSR の周期で繰り返し、次式の関係が成り立つ場合、光源毎の光周波数の違い及び基準光周波数 f_s の違いによらず、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができるため望ましい。

$$C_i(f) = C_i(f + FSR) \quad (5)$$

【0089】

このようにしてこの実施例 9 は、光の波長オーダの制御精度を緩和した任意の制御精度での QAM を実現する。実施例 1～4, 7 で用いた三角関数の擬似搬送波、また実施例 5～8 で用いたチップ構成の擬似搬送波も前記式 (1)～(5) が成立することは理解されよう。なお、チップ構成の場合は $\int d\Theta$ を Σ におきかえた式が成立する。更にろ波器のろ波対象の光周波数における任意の f から $f + FSR$ までの区間の積分値が FSR を 2 で除した値となり、次式も成立つことは理解されよう。

$$\int C_i(f) df = FSR / 2 \quad (6)$$

【0090】

実施例 1～8 における 0 相、 π 相擬似搬送波はそれぞれ実施例 9 の i 番、 i' 番擬似搬送波と対応し、 $\pi/2$ 相、 $3\pi/2$ 相擬似搬送波はそれぞれ実施例 9 の j 番、 j' 番擬似搬送波と対応している。つまりこの実施例 9 がこの発明において擬似搬送波の一般的な特性を示したものであり、その他の実施例は実施例 9 を特化したものともいえる。

【実施例 10】

【0091】

チップ構成の擬似搬送波を用いる場合の他の例を説明する。図 16 中のろ波器 161'、162' を省略し、信号位相振幅量変換器 111 の代りに括弧書きで示すように信号振幅量変換器 112 を用いる。その他の構成は同様であるがろ波器 161, 162 のろ波特性を次のようにする。

【0092】

光源の光を受けて、光送信装置の具備する i 番ろ波器 161 がろ波対象とする FSR/n ($n = 1$ 以上の整数) の光周波数領域で、その光送信装置の具備する i 番ろ波器 161 と、 i 番以外のその光送信装置又は同一伝送路を共有する他の光送信装置の具備する j 番ろ波器 162 とがろ波対象とする FSR の光周波数領域で同時にオン（透過）となるチップの数と、光送信装置の具備する i 番ろ波器 161 がろ波対象とする FSR の光周波数領

域でオン（透過）となり、 i 番以外のその光送信装置又は同一伝送路を共有する他の光送信装置の具備する j 番ろ波器162がろ波対象とするFSRの光周波数領域でオフ（非透過）となるチップの数とが同一である。つまり i 番ろ波器161と j 番ろ波器162とで同時（同一チップ位置）でオン（透過）となるチップ数と、同一チップ位置で i 番ろ波器161でオンになり、 j 番ろ波器162でオフとなるチップ数とが同一となる。

【0093】

従って、基準波長（基準周波数）からの波長差（周波数差）に相当する位相 Θ のチップでの i 番搬送波の値を $C_i(\Theta)$ とすると、 $C_i(\Theta) = C_i(\Theta + FSR/n)$ であり、 $C_{i'}(\Theta) = 1 - C_i(\Theta)$ とすると、 $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta))$ （ Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和）が有限値であり、 i 番搬送波以外の k 番搬送波（ k は i 以外の擬似搬送波の番号）を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_k(\Theta)$ とすると、 $\sum C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_{i'}(\Theta)) = 0$ （ Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和）の関係が成り立ち、 j 番搬送波を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_j(\Theta)$ とすると、 $C_j(\Theta) = C_j(\Theta + FSR/n)$ であり、 $C_{j'}(\Theta) = 1 - C_j(\Theta)$ とすると、 $\sum C_j(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta))$ （ Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和）が有限値であり、 j 番搬送波以外の m 番搬送波（ m は j 以外の擬似搬送波の番号）を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_m(\Theta)$ とすると、 $\sum C_m(\Theta) (C_j(\Theta) - C_{j'}(\Theta)) = 0$ （ Σ は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h = 0$ から $FSR/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和）が成り立つ。

【0094】

光受信装置200は実施例7で説明したものと同様のものとする。このようにしてQAMを実現することができる。この実施例10に示すものも、前式(1)～(4)にて $\int d\Theta$ を Σ に変更した式が成立する。この実施例で用いるろ波器として、例えば FSR/n に相当するチップ数をアダマール符号の符号長で除した数のチップをアダマール符号を構成する1ビットの値に合わせて透過率1／透過率0としたろ波器が適用できる。更に、アダマール符号を連続して結合した符号に対応して FSR 以上の光周波数をろ波するろ波器を適用する場合、任意の FSR の光周波数の領域で前式(1)～(5)にて $\int d\Theta$ を Σ に変更した式が成立する。

【0095】

この実施例10で別の符号を用いた具体例を以下に説明する。ろ波器のオンのチップを1としオフのチップを0とした系列が L を符号長（周期長）とする最長系列の系列に相当する。例えば $L=3$ の場合であれば、1番ろ波器161の系列を(101)とすることができる。この場合、他のろ波器（2番及び3番ろ波器）は、1番ろ波器161の系列をシフトした系列である(011), (110)とすることができる。

【0096】

光受信装置200では、受信対象の送信側の i 番ろ波器161のろ波対象の光周波数に含まれるオンのチップの光を透過する i 番ろ波器271と、 i 番ろ波器161のろ波対象の光周波数に含まれるオフのチップの光を透過する i' 番ろ波器271'、各第1のろ波器(271, 272)の透過光強度を検出する第1の検出器群(231, 232)と、各第2のろ波器(271', 272')の透過光強度を検出する第2の検出器群(233, 234)と、第1の検出器が検出した強度から第2の検出器の検出した強度を減じて比較する比較器群(241, 242)と、比較器群の出力する対応する送信局の変調器が変調した振幅の組合せから伝送信号に変換する振幅信号変換器(260)とを具備する。

【0097】

動作の例として、 i 番ろ波器161を具備する送信装置による信号(101)を対応する受信装置により受信した場合の比較器強度と、 j 番ろ波器162に対応する信号(011)を受信した場合の比較器強度を考える。 i 番ろ波器161に対応する受信装置のオンのチップの光を透過する i 番ろ波器271の透過光強度を検出する検出器231の出力は

信号(101)中の2チップ分であり、ろ波特性が(010)であるi'番ろ波器271'を信号(101)が透過するチップは0であり、j'番ろ波器272'の透過光強度を検出する検出器233の出力は0であり、検出器231が検出した強度から検出器233の検出した強度を減じて比較する比較器241の出力は2チップ分となる。

【0098】

送信側のj番ろ波器162に対応する信号光(011)を選出するためのj番ろ波器272を、受信光(101)が透過するのは1チップだけであり、j番ろ波器272の透過光強度を検出する検出器232の出力は1チップ分であり、信号光(011)のオフのチップの光を選出するためのj'番ろ波器272'の透過光強度を検出する検出器234の出力は、受信光(101)に対しては1チップ分であり、検出器232が検出した強度から検出器234の検出した強度を減じて比較する比較器242の出力は0チップ分となる。

【0099】

以上示したようにこの実施例も、実施例7と同様に、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができ、光の波長オーダの制御精度を緩和した任意の制御精度でのQAMを実現することができる。

【0100】

この実施例10に示すものも、所定のFSRの区間で前記式(1)～(4)にて $\int d\Theta$ をΣに変更した式が成立することは理解されよう。従って、擬似搬送波をFSRの領域で強度1のチップと強度0のチップとの方形波状周期関数とし、前記i番ろ波器161、271 j番ろ波器162、272のろ波特性と対応するi番搬送波、j番搬送波は、同一光周波数位置で共に強度1(又は強度0)となるチップ数と、同一光周波数位置でj番搬送波が強度1(又は強度0)でj番搬送波が強度0(又は強度1)となるチップ数とが等しいものとなる。更に実施例8で示したチップごとの光源を用いる場合にも、この方形波状周期関数を適用することができる。

【0101】

上述した各種実施例においてQAM変調を行う場合は第3、第4パラメータによりそれぞれ強度1又は3のいずれかを選択し、1, 0の4個のデータの組み合せ、つまり16通りの組み合せのいずれかを表わしたが、17通り以上の組み合せのいずれかを表わすようにしてもよい。つまり光送信装置では表わしたい1, 0のデータの組み合せ数に応じて、あらかじめ決めた多値のいずれかの1つの値の光強度に、i番(又はi'番)、j番(又はj'番)搬送波と対応する光がなるよう第3、第4パラメータにより選択制御すればよい。光受信装置では、上記A/D変換器261、262よりの各極性を含めたあらかじめ決めた多値のいずれか1つのデジタル値の各取り得る組み合せと対応した4個以上のデータ0又はデータ1の取り得る組み合せ中の対応する1つを符号信号変換器260から出力させればよい。

【0102】

前記A/D変換器263、264よりのあらかじめ決めた多値のいずれかの1つのデジタル値とは、その極性を加味する場合と、加味しない場合とがあり、加味しない場合は、例えば実施例7中で述べたように、図9a中の1つの象限、例えば第1象限のみの信号点を用いる場合であり、符号信号変換器260の出力としては2つのデータの取り得る組み合せの1つに変換されることになり、従ってA/D変換器263、264の出力デジタル値として極性を加味する場合は4個以上のデータの取り得る組み合せとなり、極性を加味する場合は、2個以上のデータの組み合せとなる。従って一般には多値のいずれかの1つの値で、2個以上のデータの組み合せといえる。

【実施例11】

【0103】

この発明の実施例11を適用した通信システムを図17に示す。光送信装置100には、実施例3で説明した図6中の光送信装置100がK個(Kは2以上の整数)1001, …, 100Kとして並列に収容され、入力端子101よりの伝送信号を直並列変換器17

0でK個の並列系列に変換して光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ の各信号位相量変換器 110 へ入力する。光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ より各出力は合波器 171 で合波され光伝送路 300 へ出力される。

【0104】

光受信装置 200 では、実施例3に用いる光受信装置、つまり図1中の光受信装置 200 がK個 $200_1, \dots, 200_K$ として並列に収容され、光伝送路 300 よりの光信号は分岐器 270 でK分岐され、分岐された各光信号は光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ の分岐器 210 にそれぞれ入力される。光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ の出力信号は並直列変換器 273 で直列変換されて元の伝送信号に戻される。

【0105】

光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ と光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ は実施例3で示したように、相互干渉することなく送受信する。

【0106】

ここで、光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ 、光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ は、所定の周期を基準周期とした場合に、ろ波器のろ波特性関数に含まれる三角関数の周期が前記基準周期を自然数で除した周期となるろ波器を用いる。即ち、前記基準周期と各光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ が備えるろ波器の周期はフーリエ変換の生成する基本周期と倍周期の組に対応する。例えば、FSRを除する数Nの値を1からKとし、これらFSR, $FSR/2, \dots, FSR/K$ をそれぞれ光送信装置 $100_1, 100_2, \dots, 100_K$ の光信号が合波器 171 で合波された光信号は逆離散フーリエ変換された信号と等価になる。

【0107】

光受信装置 200 に用いるろ波器のろ波特性関数の周期とする。このような関係では受信光信号が分岐されて光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ により離散フーリエ変換されて元の伝送信号に戻されたと同等の作用をすることになる。

【0108】

このようにして、この実施例11は、擬似搬送波同士の直交関係を用いて、離散逆フーリエ変換に対応する複数擬似搬送波を用いて擬似OFDM（直交周波数分割多重）を実現することができる。光送信装置 100 が基本周期から基本周期の $K/2$ 倍の周期までの周期で、その各周期毎に位相が $\pi/2$ ずれたろ波特性のろ波器を具備する光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ を用いた場合、各光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ において $\pi/2$ 位相がずれたろ波特性の一方がコサイン関数とすると他方はサイン関数となり、光送信装置 100 の出力は $\Sigma (a_n \cos(n \omega \lambda) + b_n \sin(n \omega \lambda))$ で表せる。ここで、nは基本周期に対するろ波器周期の倍数の値、 a_n と b_n はそれぞれの擬似搬送波で搬送する伝送信号である。

【0109】

なお、基本周期を含む任意の周期nに対応する光送信装置 100_n 及び光受信装置 200_n を備えない場合も、該当する a_n 又は b_n の値が0であることに対応し、光送信装置 100 の出力の式が成り立ち、この実施例の一般性を損なわない。

この実施例は通常のWDM（波長分割多重）と異なり用いる波長同士を重ねることができるので、通常のWDMと比べてガードバンドが不要であるため、波長利用効率を向上できる効果がある。

【0110】

なお、図17において光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ の光源 120 を单一の光源で共用してもよい。また、この実施例11では擬似QPSKを適用した光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ を複数用いたが、前述した擬似MPSKあるいは擬似QAMを適用した光送信装置を複数用いてもよい。更にろ波特性関数としては三角関数のみならず、実施例9で説明した性質をもつ関数であってもよい。従って実施例5～8で説明したチップ構成の擬似搬送波を用いる光送信装置 100 、光受信装置 200 を複数用いてもよい。この場合は、 $L/4$ の所定の約数であるSを基準のSとした場合に、その基準のSの約数に相当す

るSを用いたろ波特性をもつろ波器を具備する光送信装置100₁，…，100_K、光受信装置200₁，…，200_Kを用いる。即ち、基準のSと各光送信装置100₁，…，100_Kのろ波器のろ波特性のSはフーリエ変換の生成する基本周期と倍周期の組に対応する。このようにして、この実施例11の光送信装置100も逆離散フーリエ変換した信号を出し、光受信装置200は離散フーリエ変換して元の伝送信号に戻すものとなる。

【0111】

上述した各実施例における光送信装置100に用いられるろ波器は、何れも図4を参照して説明したように、ろ波器のろ波特性を変調器の出力により制御するようにしたものでよく、固定的に設定されたろ波特性をもつ複数のろ波器を選択する構成であってもよい。従ってろ波器を変調器により制御するということはろ波特性を制御するという場合と、ろ波器の選択を制御する場合とを意味するものである。

【0112】

信号位相量変換器110、信号位相振幅量変換器111及び信号振幅量変換器112は信号データに応じて、ろ波特性の制御やろ波器の選択制御、光送信装置から出力される光の強度を制御するためのパラメータに変換するものであるから、これらを総称して信号変調値変換器ということができ、これらから出力される位相量、振幅量などは変調値といえ、かつその各成分はパラメータと呼ぶことができる。

【図面の簡単な説明】

【0113】

【図1】この発明の実施例1を適用した通信システムの構成例を示す図。

【図2】2個のデータと対応する位相と、三角関数の擬似搬送波との関係例を示す図。

【図3-1】実施例1における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との0相変調出力の場合の関係例を示す図。

【図3-2】図3-1のπ/2相変調出力の場合の例を示す図。

【図3-3】図3-1のπ相変調出力の場合の例を示す図。

【図3-4】図3-1の3π/2相変調出力の場合の例を示す図。

【図4】図1中の位相変調部130の構成例を示す図。

【図5】この発明の実施例2における光送信装置の構成例を示す図。

【図6】この発明の実施例3における光送信装置の構成例を示す図。

【図7】(a)はQPSKにおける座標上の信号点を示す図、(b)はデータ組と座標点と選択ろ波位相との関係を示す図である。

【図8-1】この発明の実施例4を適用した通信システムにおける光送信装置の構成例を示す図。

【図8-2】実施例4の光受信装置の構成例を示す図。

【図9】(a)はQAMにおける座標上の信号点を示す図、(b)はデータ組と、選択位相及び強度と、比較器241及び242の各出力との関係を示す図。

【図10】実施例4における光送信装置の他の構成例を示す図。

【図11】この発明の実施例5を適用した通信システムの構成例を示す図。

【図12】実施例5におけるろ波特性の例を示す図。

【図13-1】実施例5における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との0相変調出力の場合の関係例を示す図。

【図13-2】図13-1のπ/2相変調出力の場合の例を示す図。

【図13-3】図13-1のπ相変調出力の場合の例を示す図。

【図13-4】図13-1の3π/2相変調出力の場合の例を示す図。

【図14】実施例5で用いるろ波器の構成例を示す図。

【図15】この発明の実施例8の光送信装置の構成例を示す図。

【図16】この発明の実施例9を適用した通信システムの構成例を示す図。

【図17-1】この発明の実施例11を適用した通信システムにおける光送信装置の構成例を示す図。

【図17-2】実施例11の光受信装置の構成例を示す図。

【図18】実施例5におけるチップ数Lと、位相シフト量Pと、約数Sと、Qとnとの関係例を示す図。

【書類名】図面
【図 1】

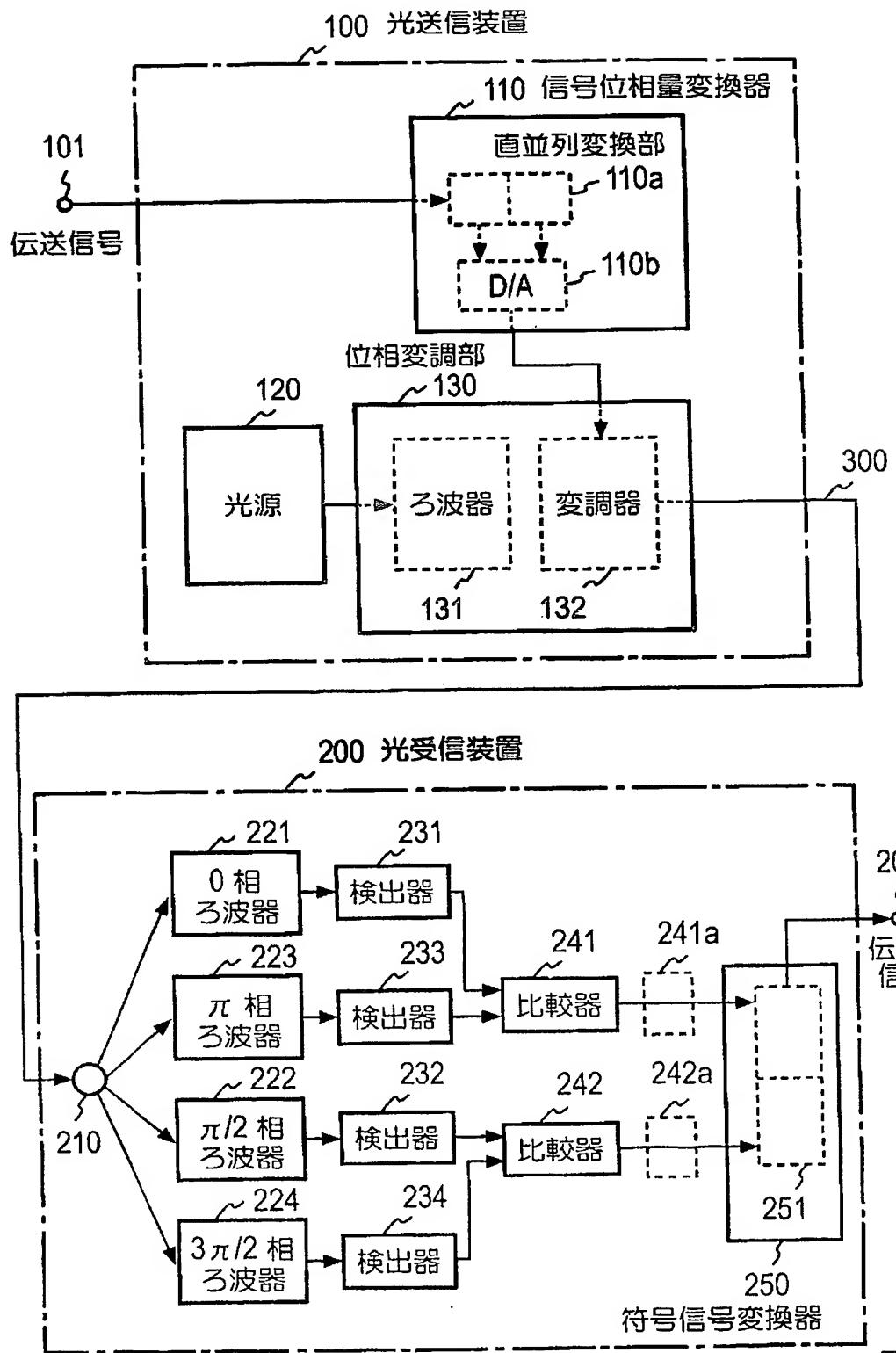


図1

【図2】

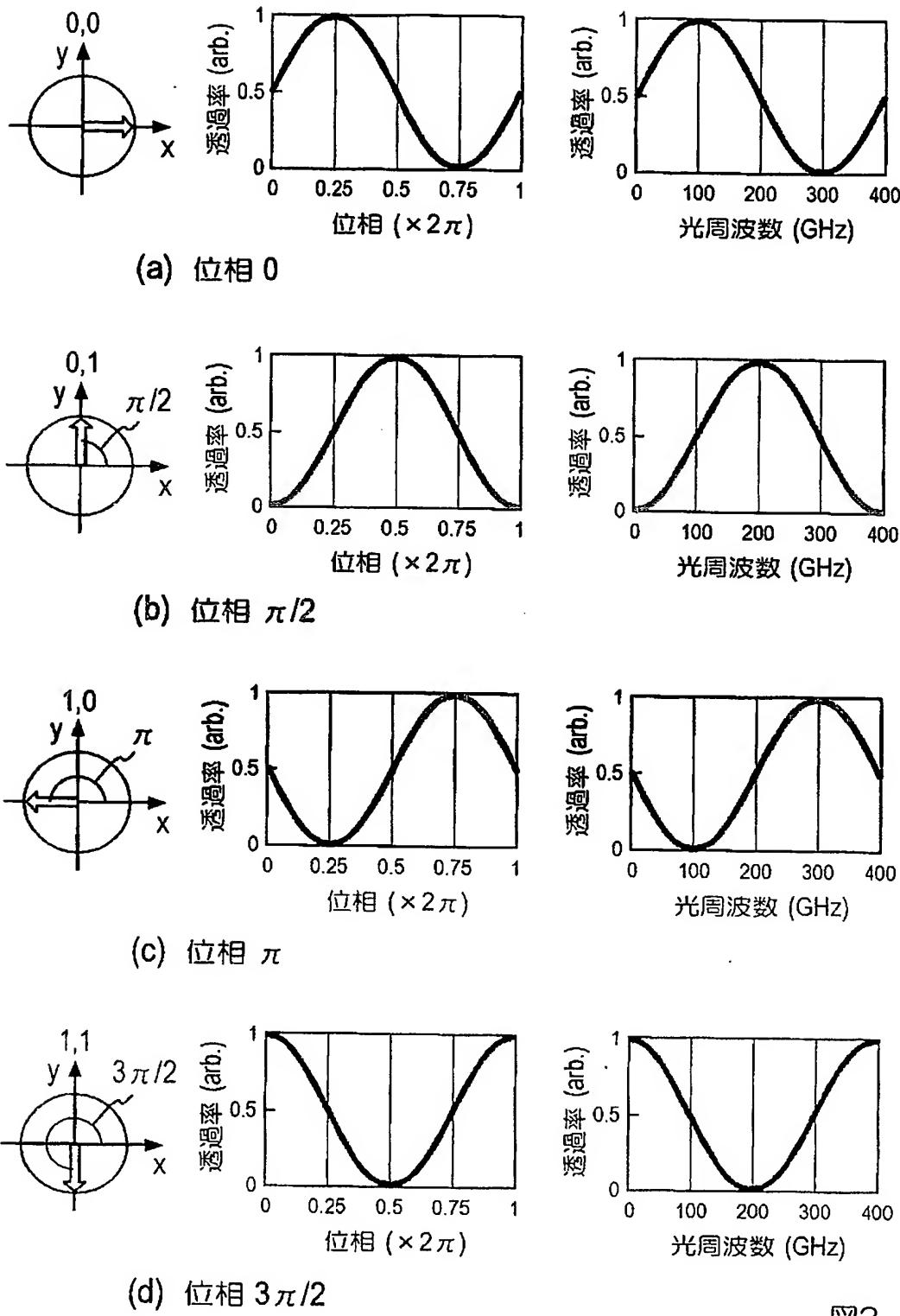


図2

【図3-1】

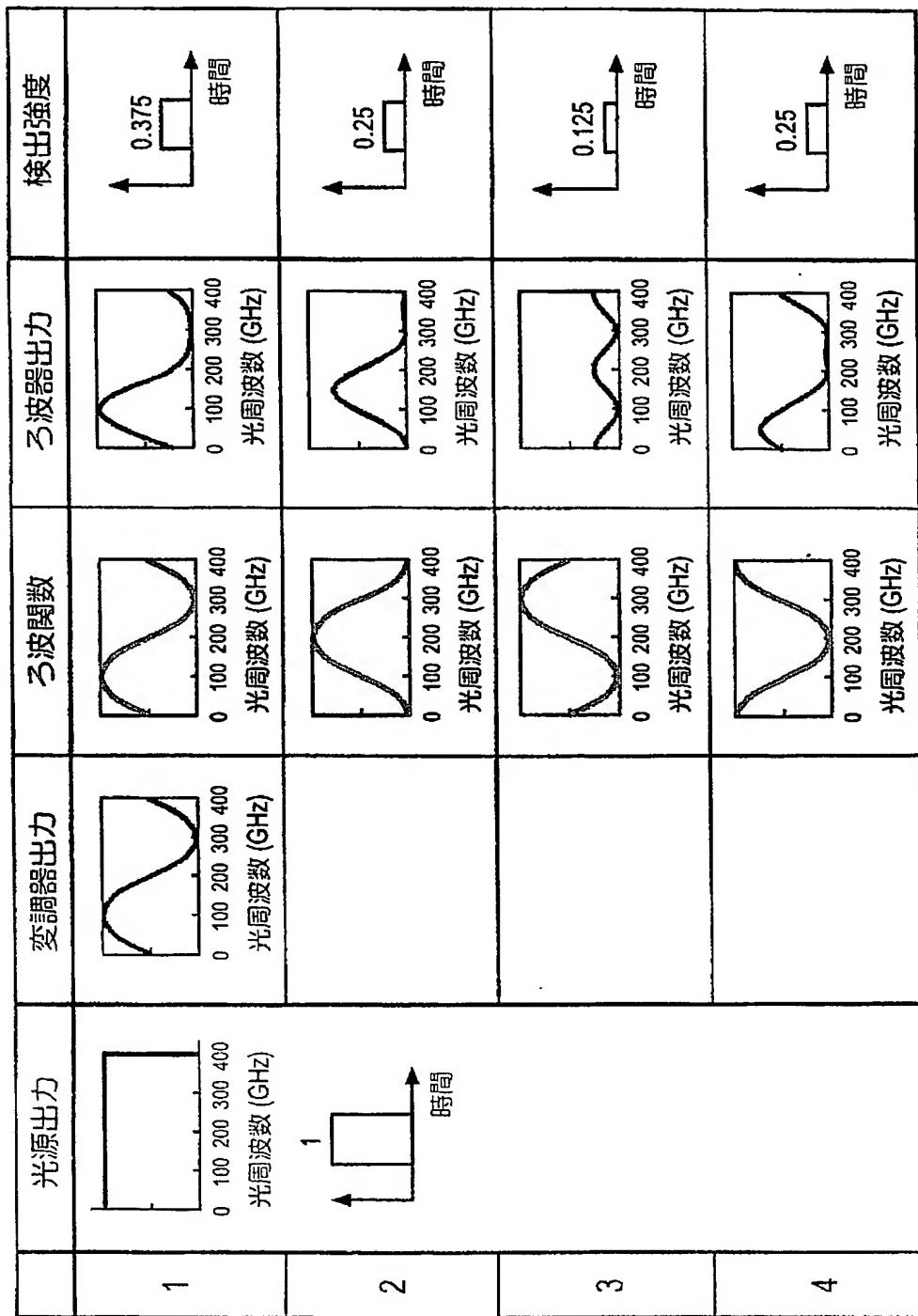


図3-1

【図3-2】

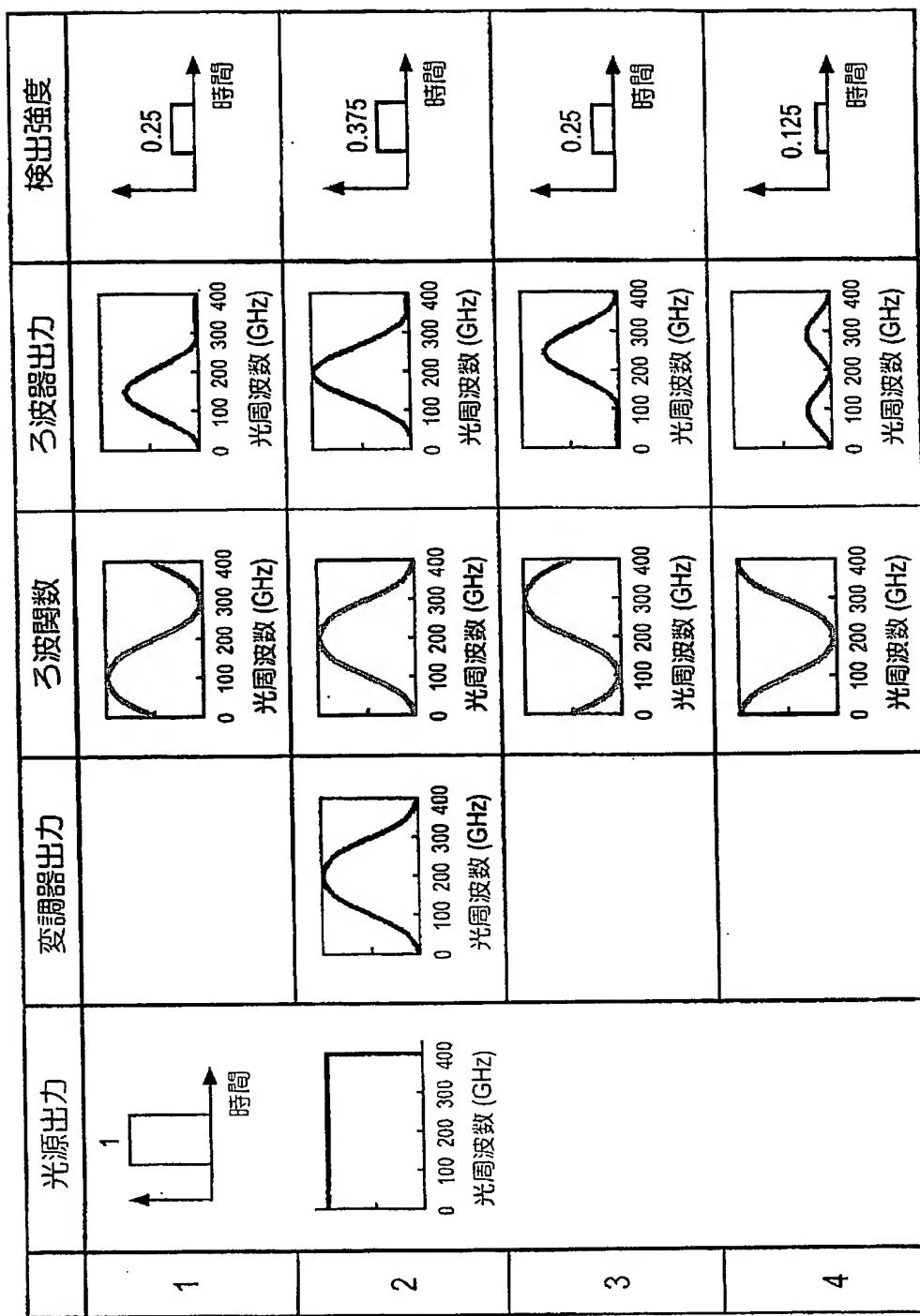


図3-2

【図3-3】

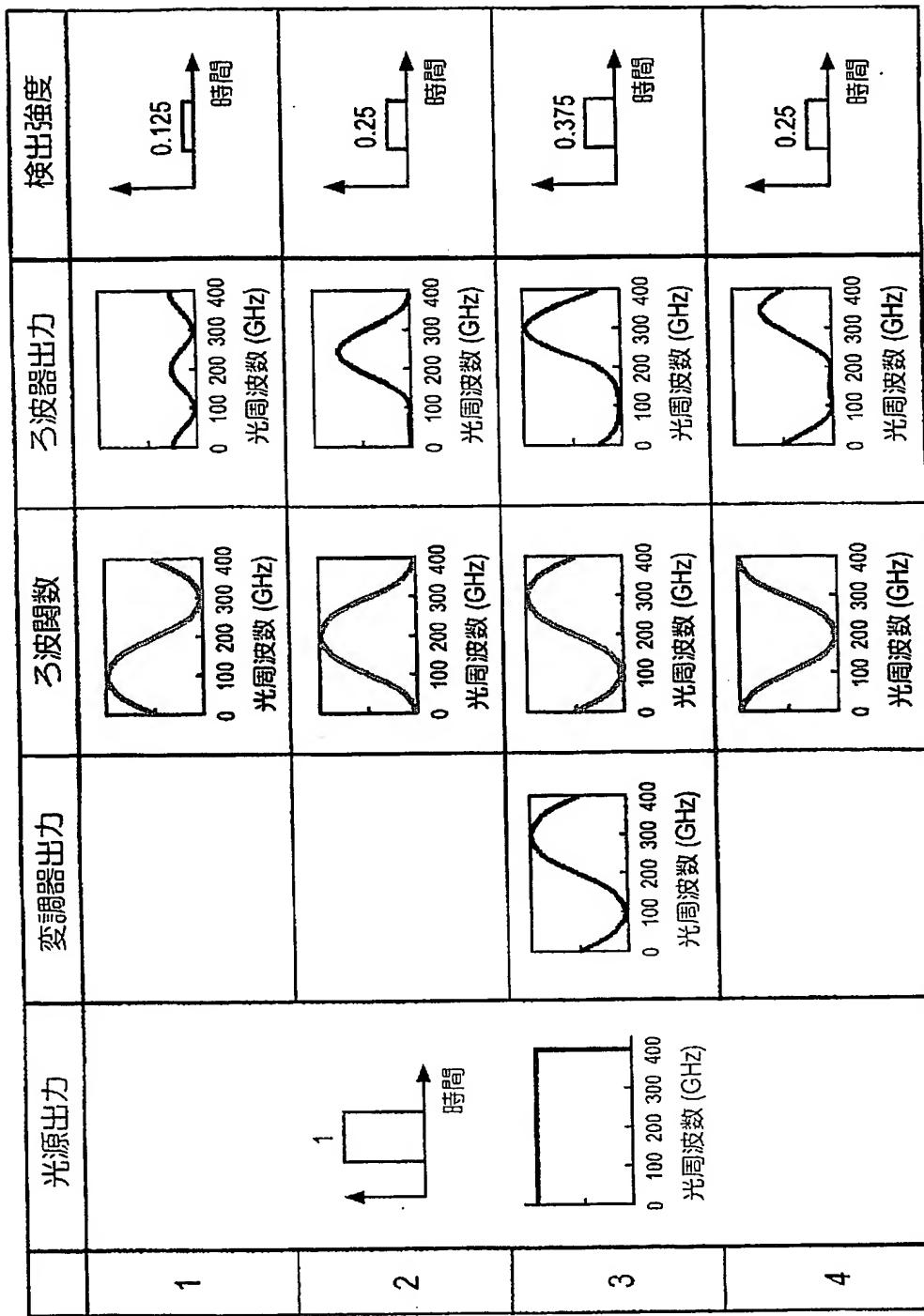


図3-3

【図3-4】

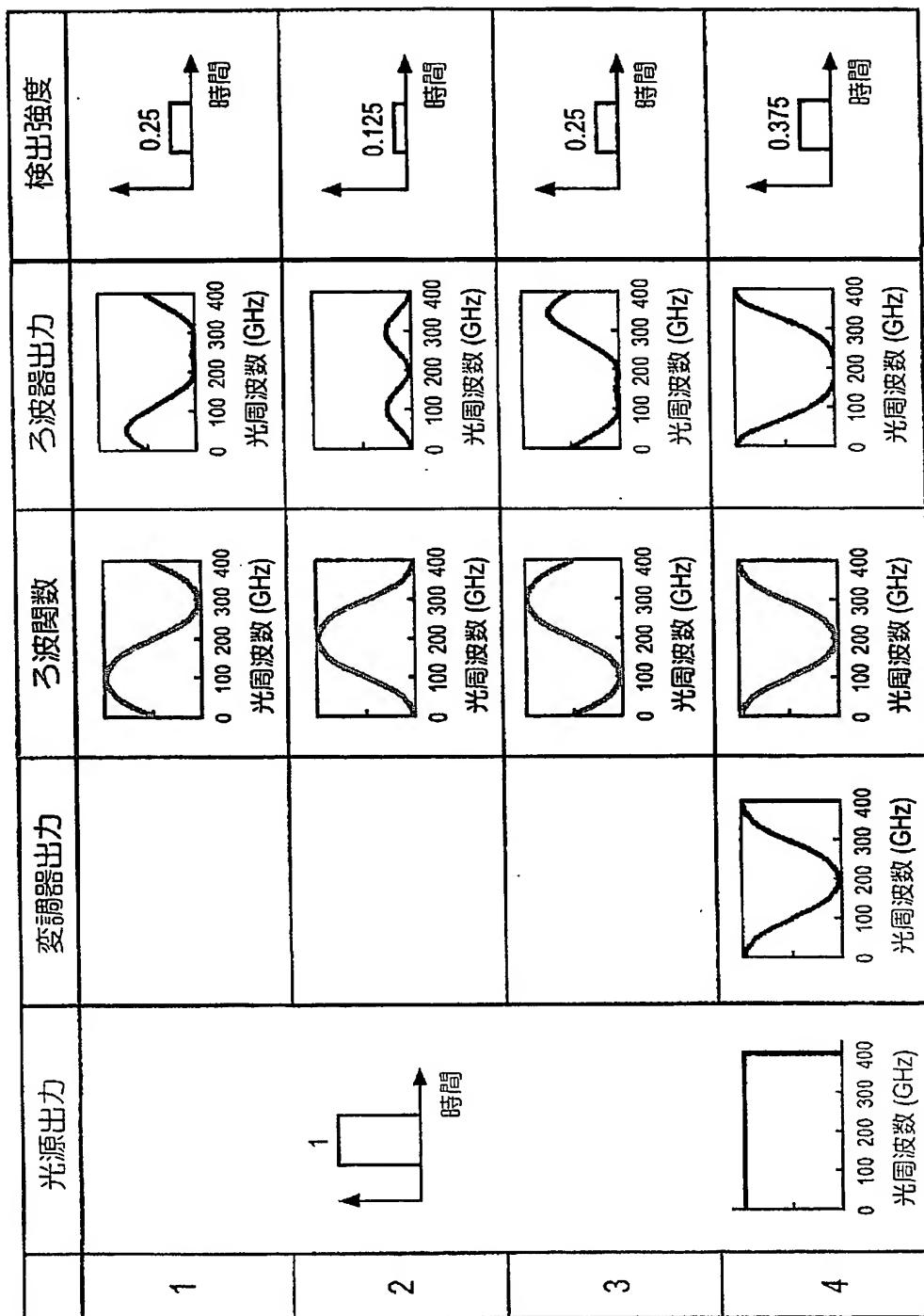
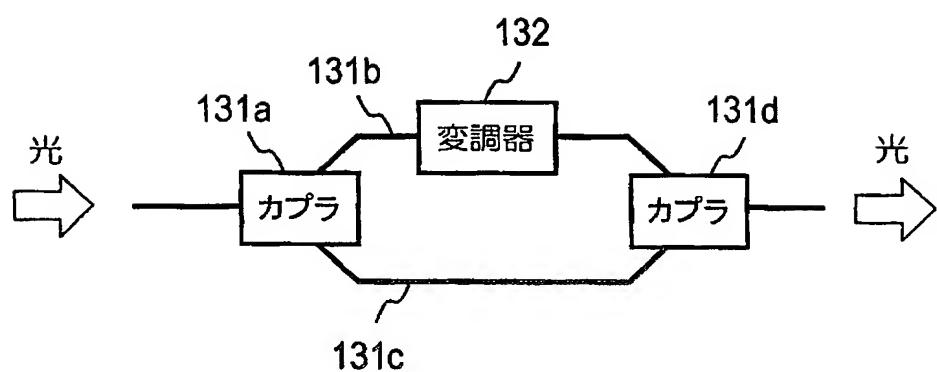


図3-4

【図4】

(a)



(b)

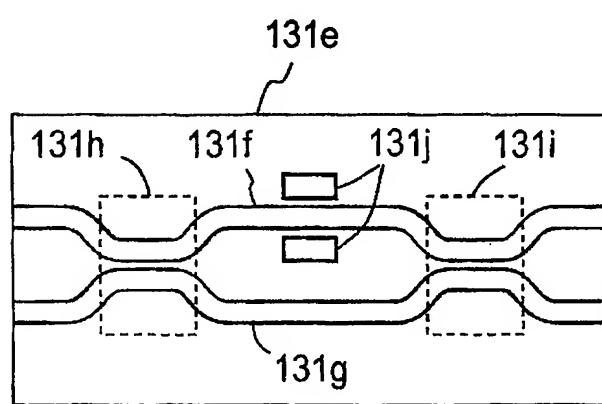
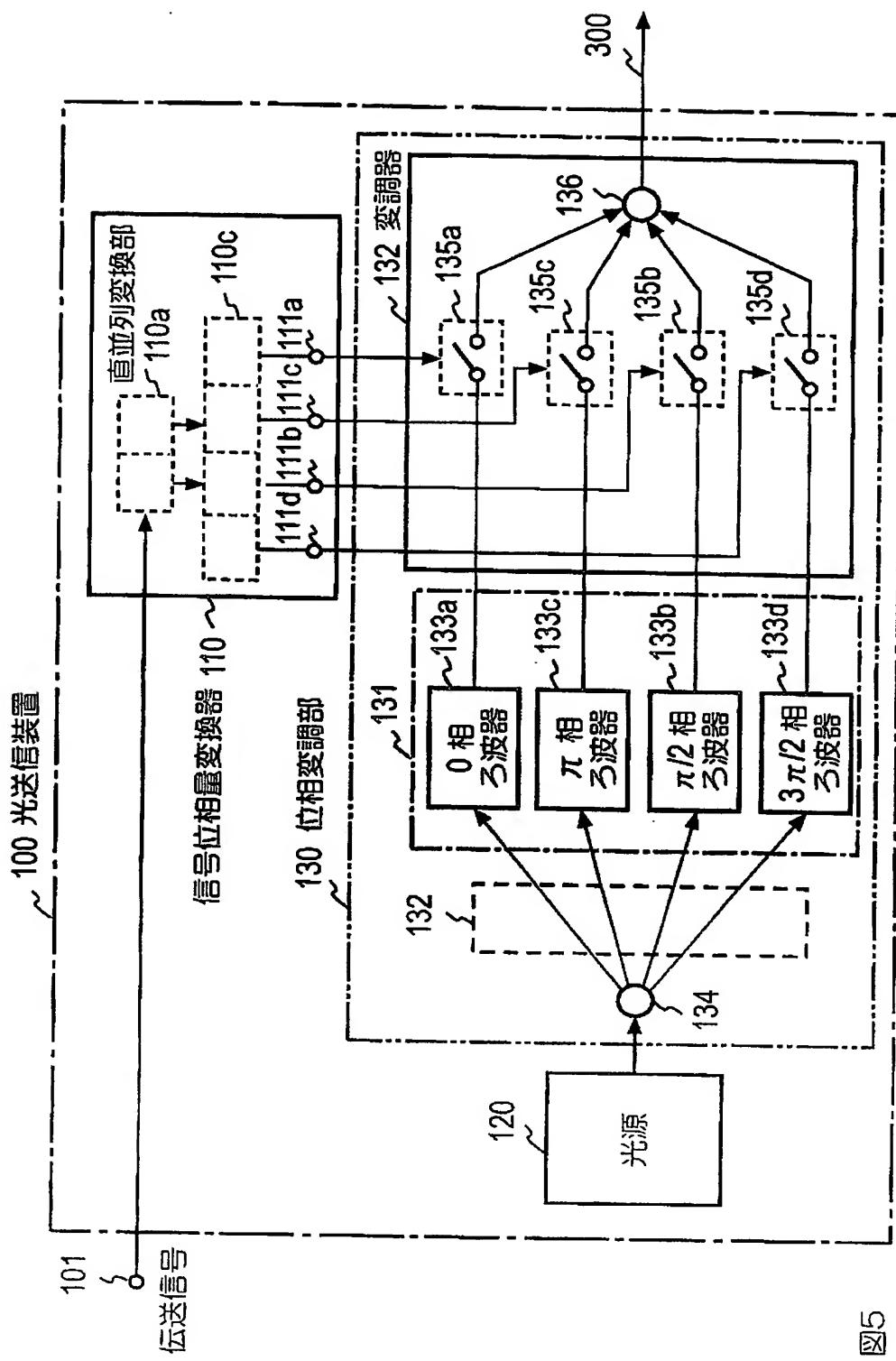


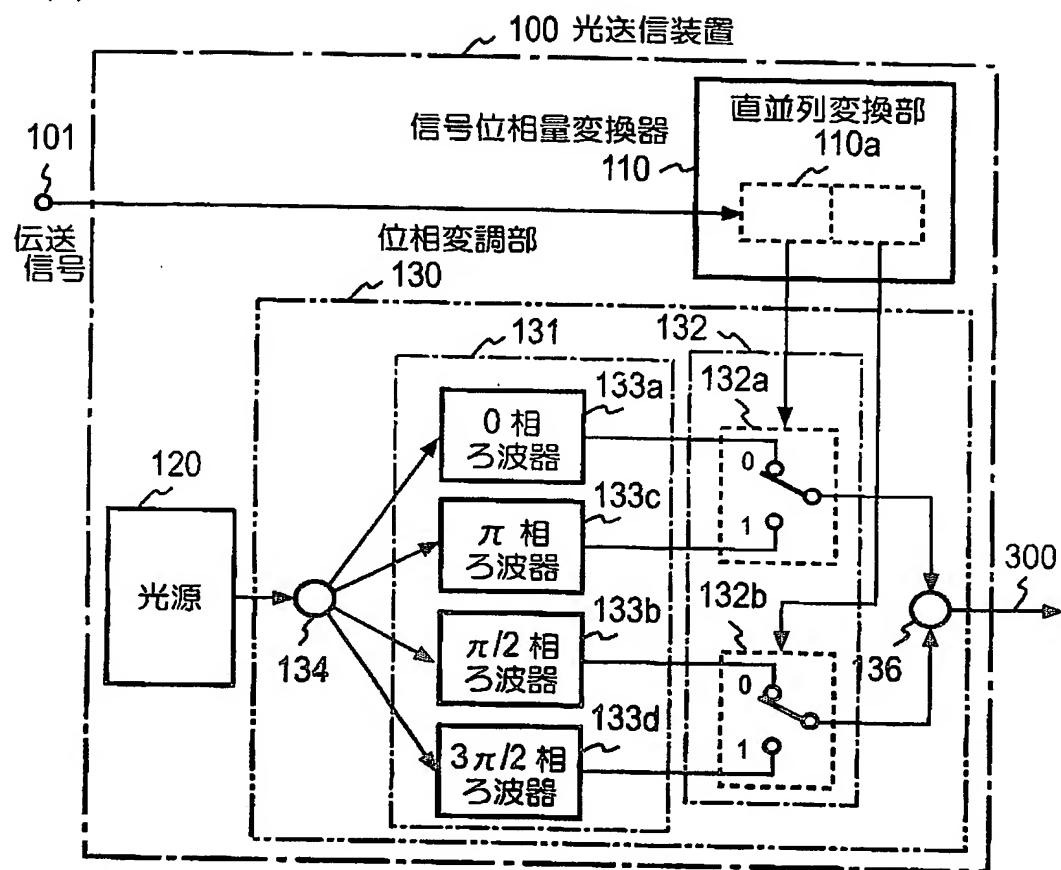
図4

【図5】



【図6】

(a)



(b)

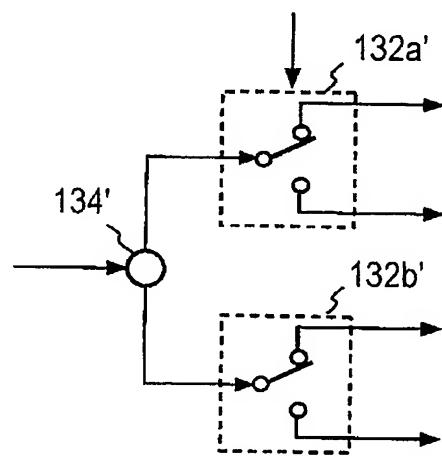
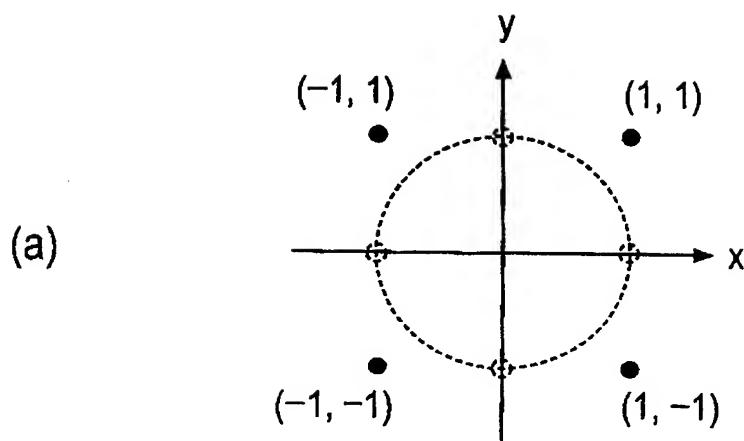


図6

【図7】



(b)

データ組	座標点	選択ろ波位相
0, 0	1, 1	0, $\pi/2$
0, 1	1, -1	0, $3\pi/2$
1, 0	-1, 1	π , $\pi/2$
1, 1	-1, -1	π , $3\pi/2$

図7

【図8-1】

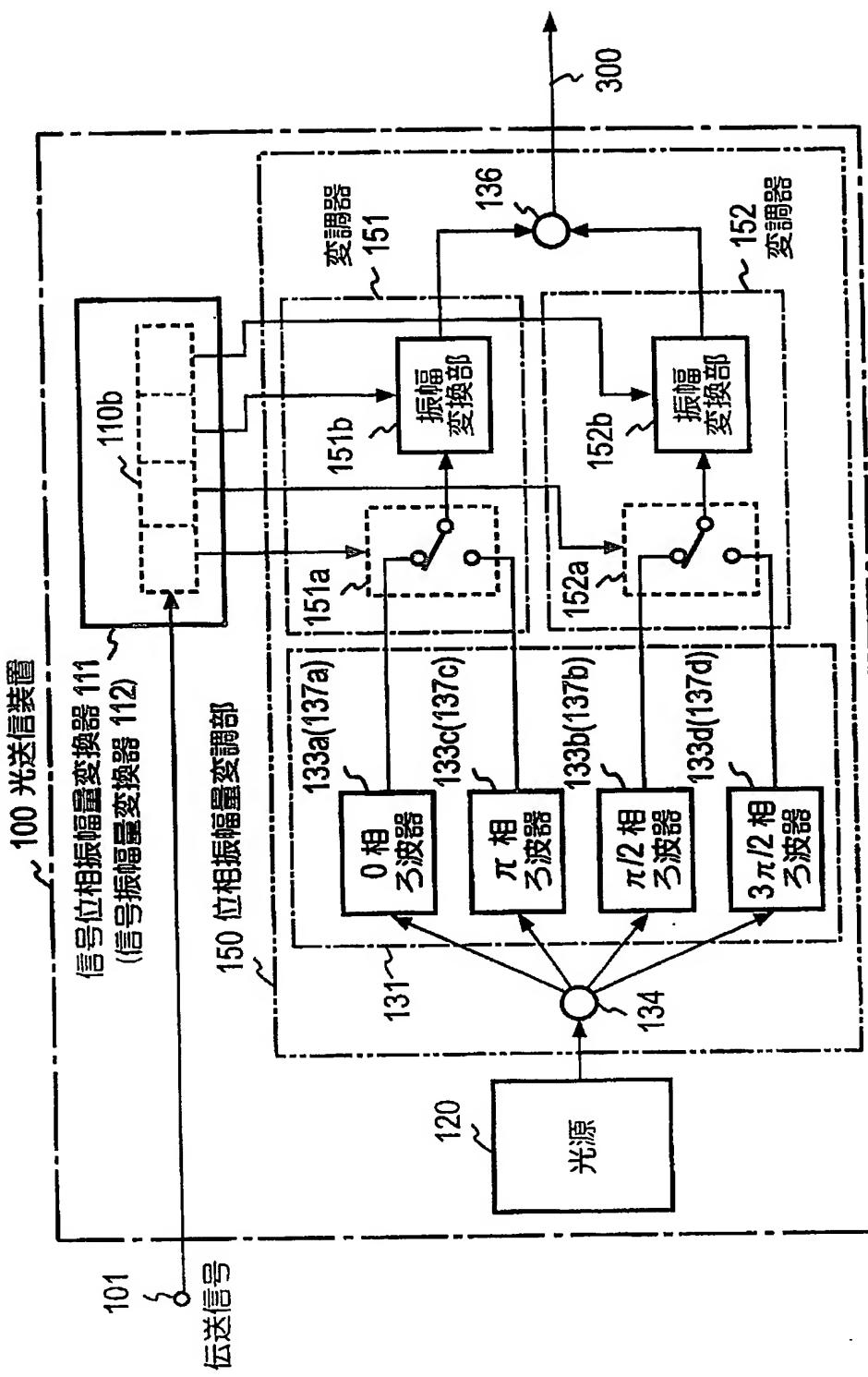


図8-1

【図8-2】

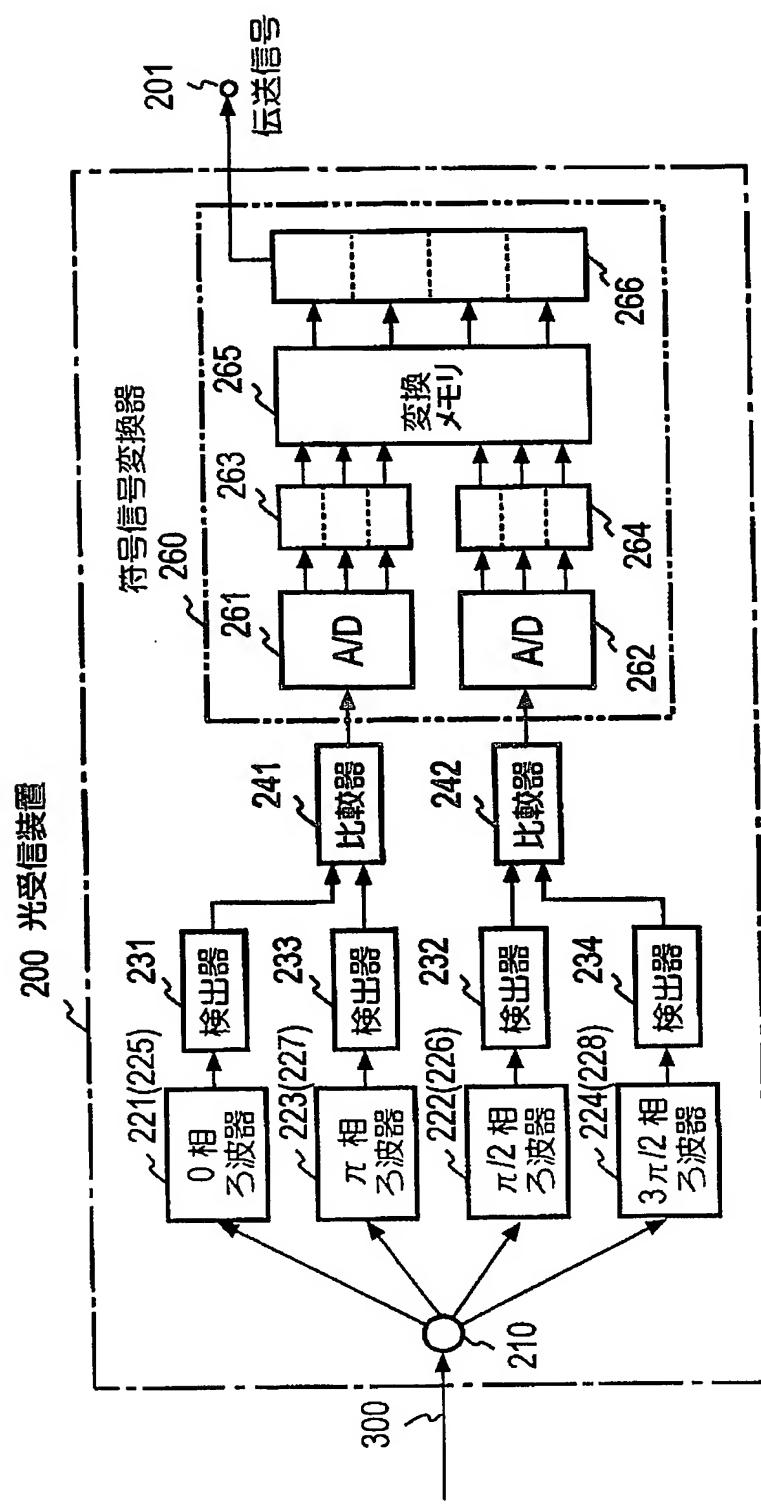
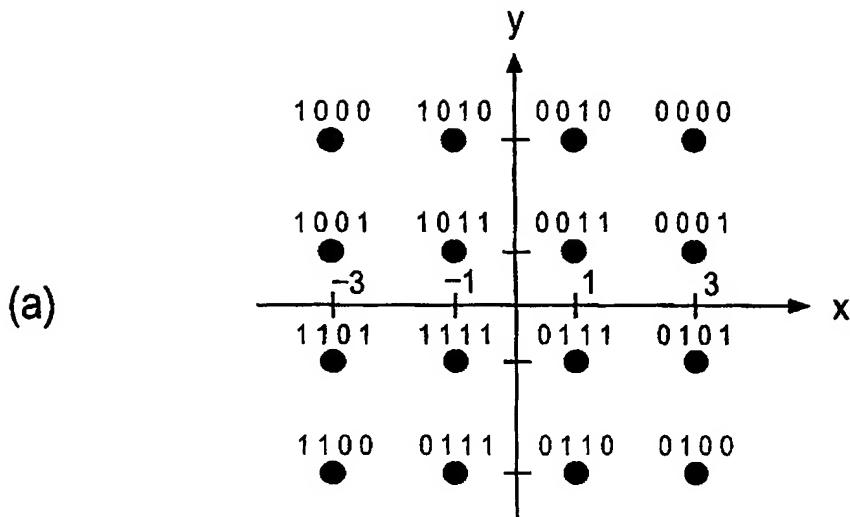


図8-2

【図9】



(b)

データ組	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$	比較器	
	241	242				
0 0 0 0	3	3	0	0	3	3
0 0 0 1	3	1	0	0	3	1
0 0 1 0	1	3	0	0	1	3
0 0 1 1	1	1	0	0	1	1
0 1 0 0	3	0	0	3	3	-3
0 1 0 1	3	0	0	1	3	-1
0 1 1 0	1	0	0	3	1	-3
0 1 1 1	1	0	0	1	1	-1
1 0 0 0	0	3	3	0	3	3
1 0 0 1	0	1	3	0	3	3
1 0 1 0	0	3	1	0	1	1
1 0 1 1	0	1	1	0	1	1
1 1 0 0	0	0	3	3	-3	-3
1 1 0 1	0	0	3	1	-3	-1
1 1 1 0	0	0	1	3	-1	-3
1 1 1 1	0	0	1	1	-1	-1

図9

【図10】

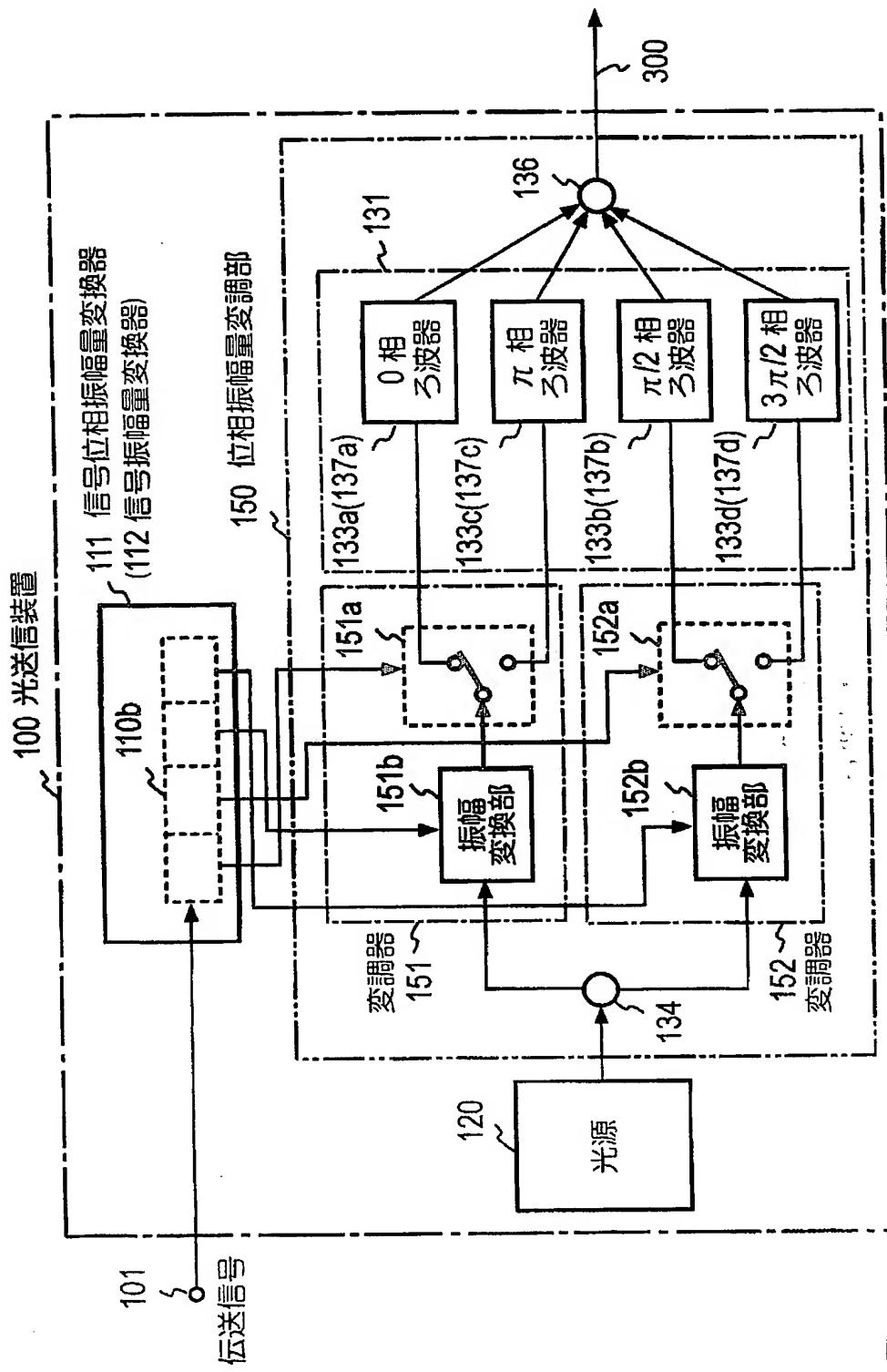


図10

【図11】

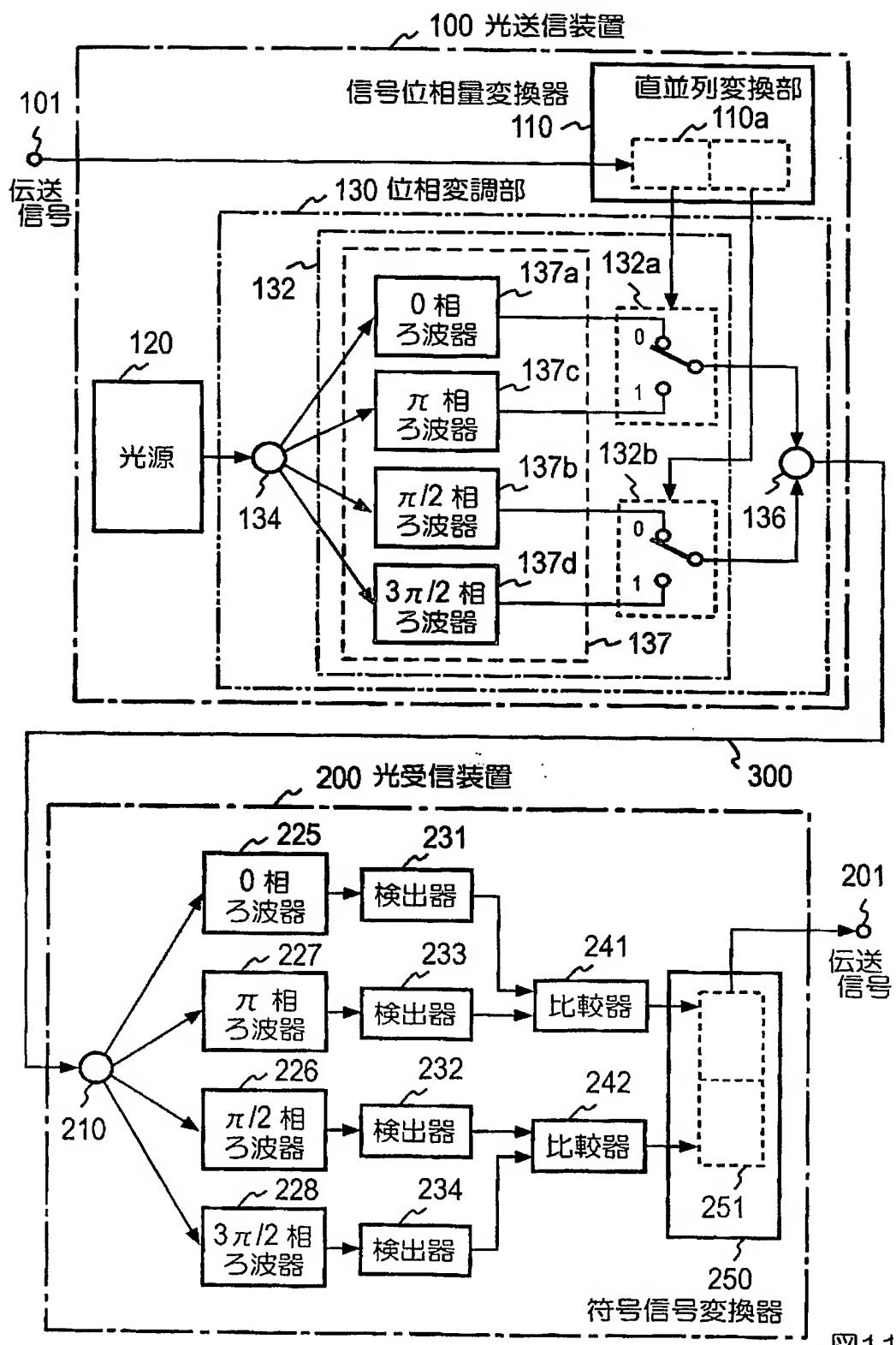


図11

【図12】

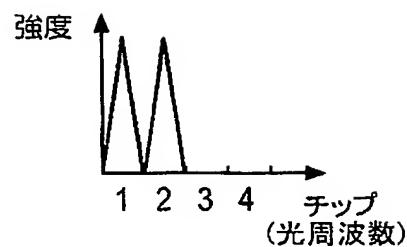
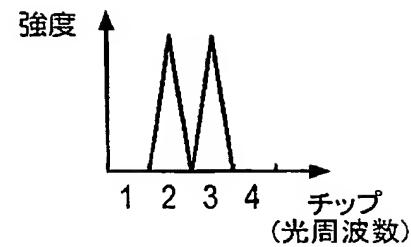
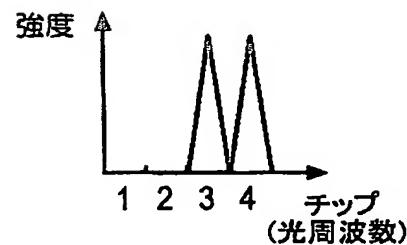
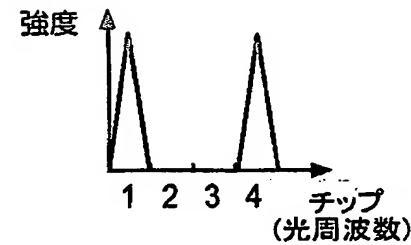
(a) 位相 0 ($L=4, S=1$)(b) 位相 $\pi/2$ ($L=4, S=1$)(c) 位相 π ($L=4, S=1$)(d) 位相 $3\pi/2$ ($L=4, S=1$)

図12

【図 13-1】

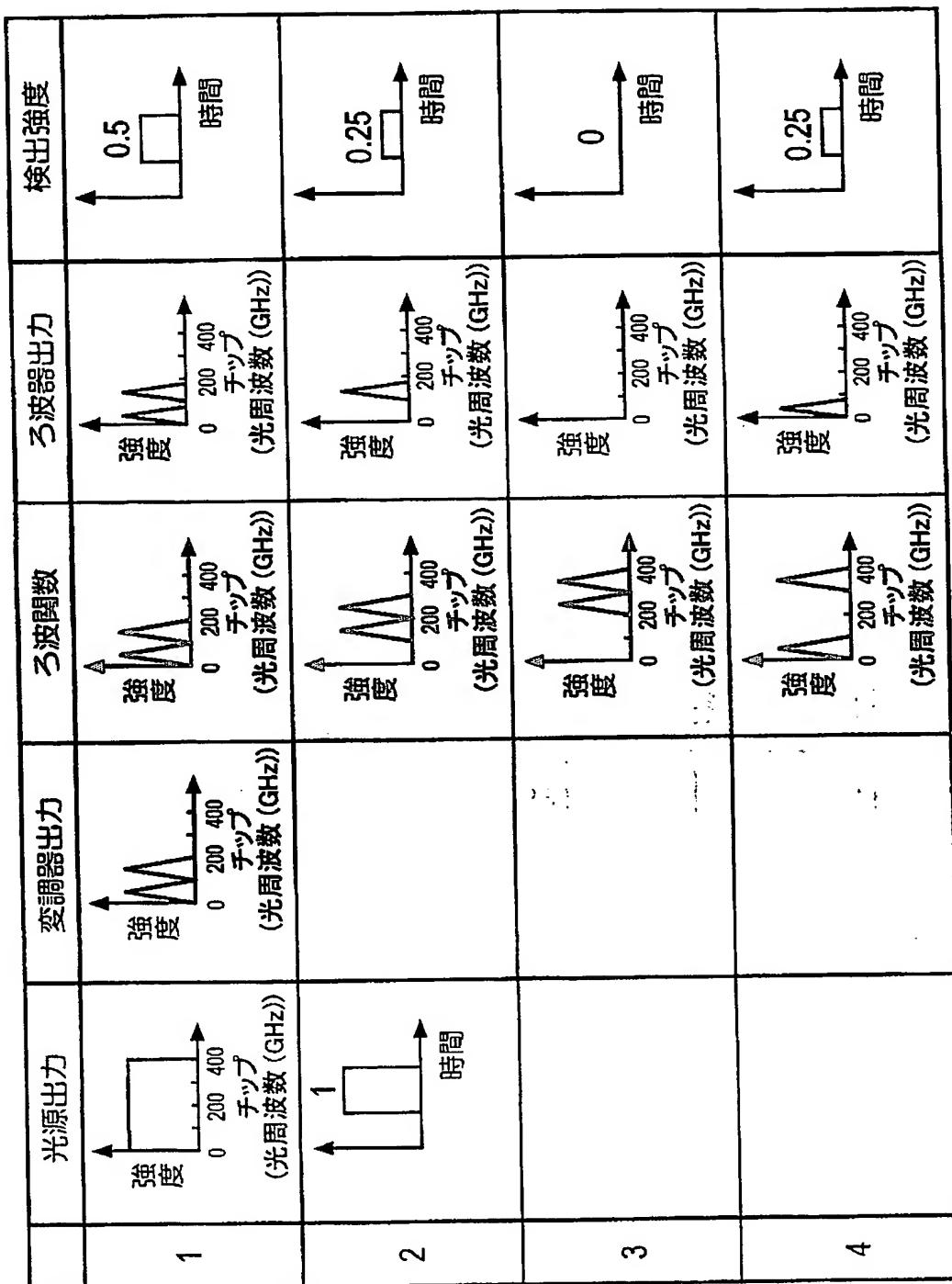


図13-1

【図13-2】

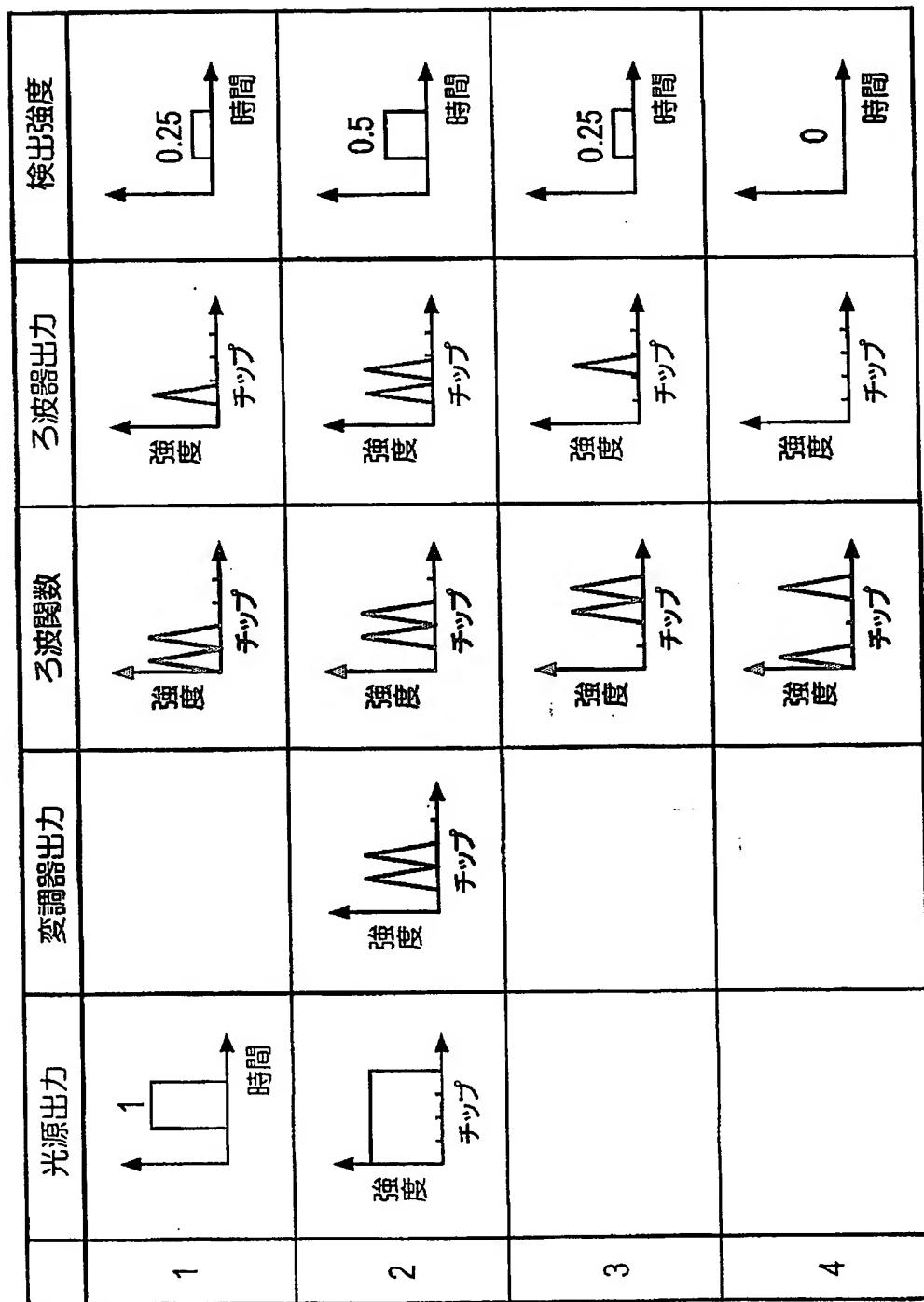


図13-2

【図13-3】

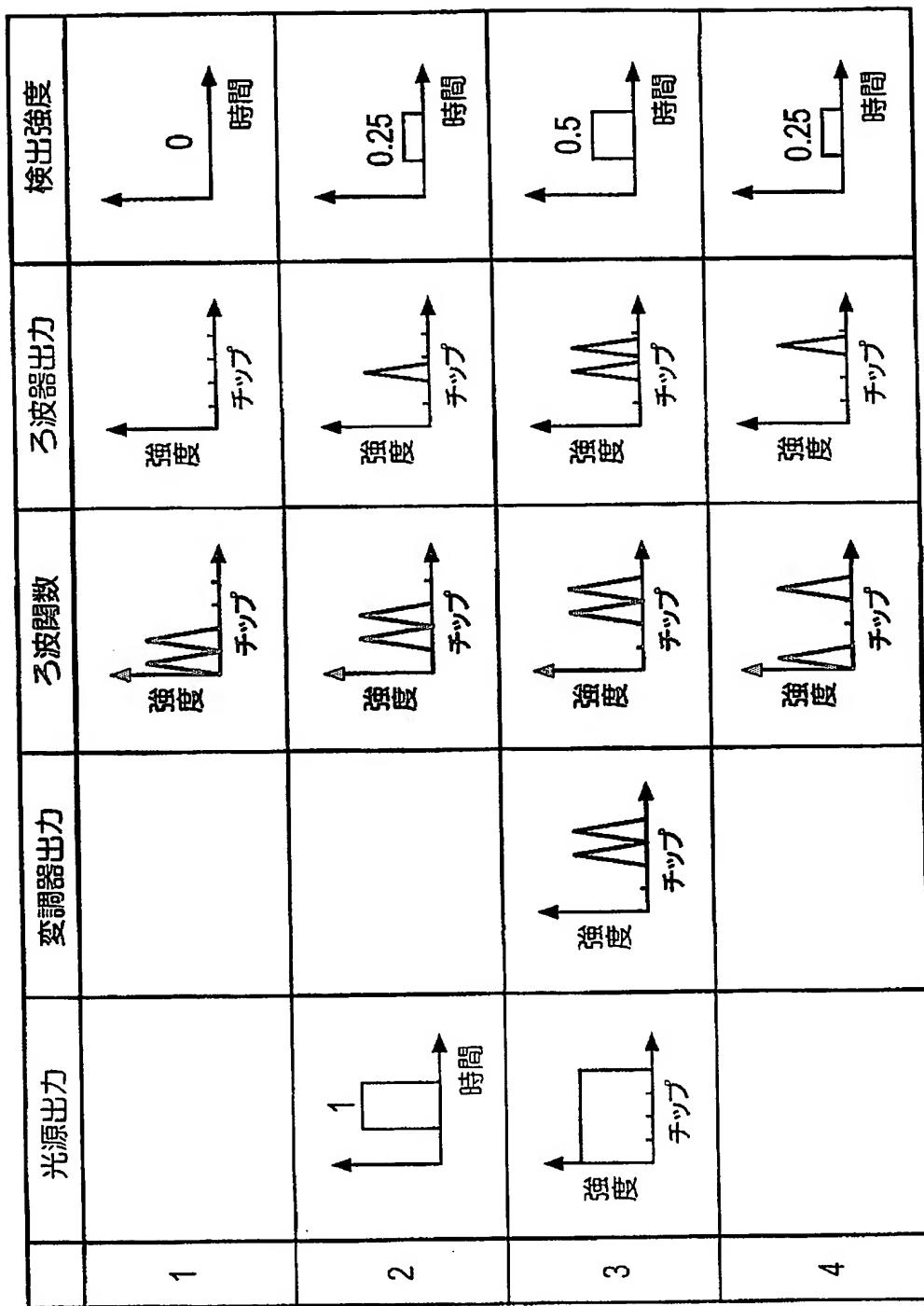


図13-3

【図13-4】

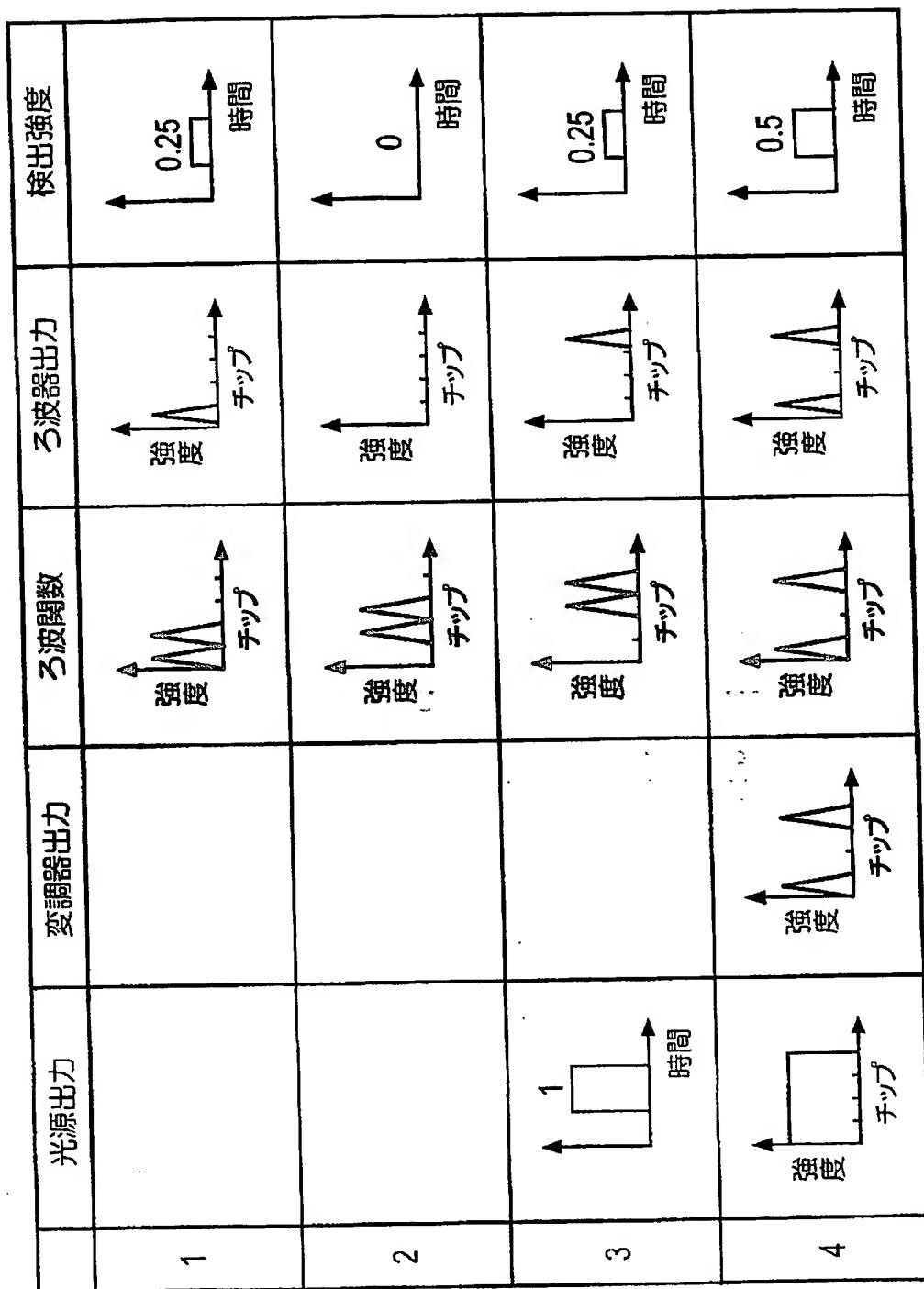


図13-4

【図14】

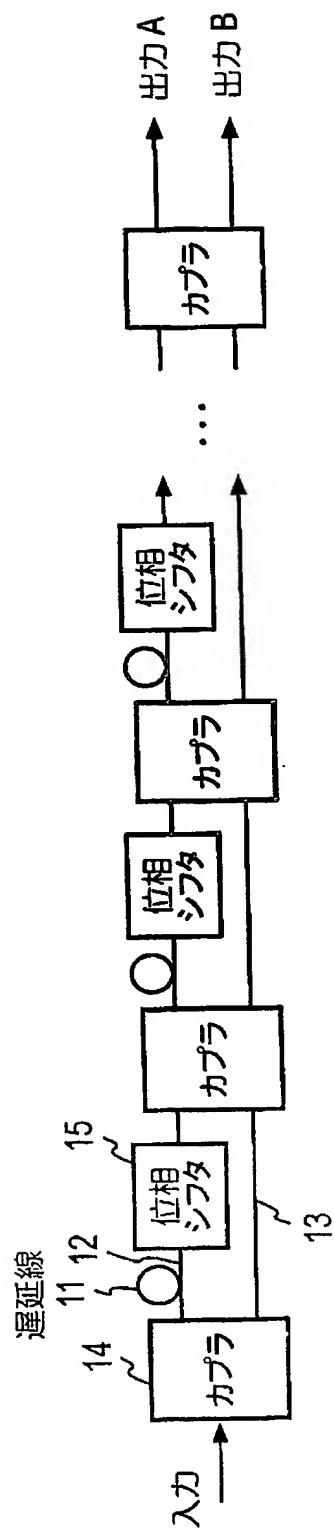


図14

【図15】

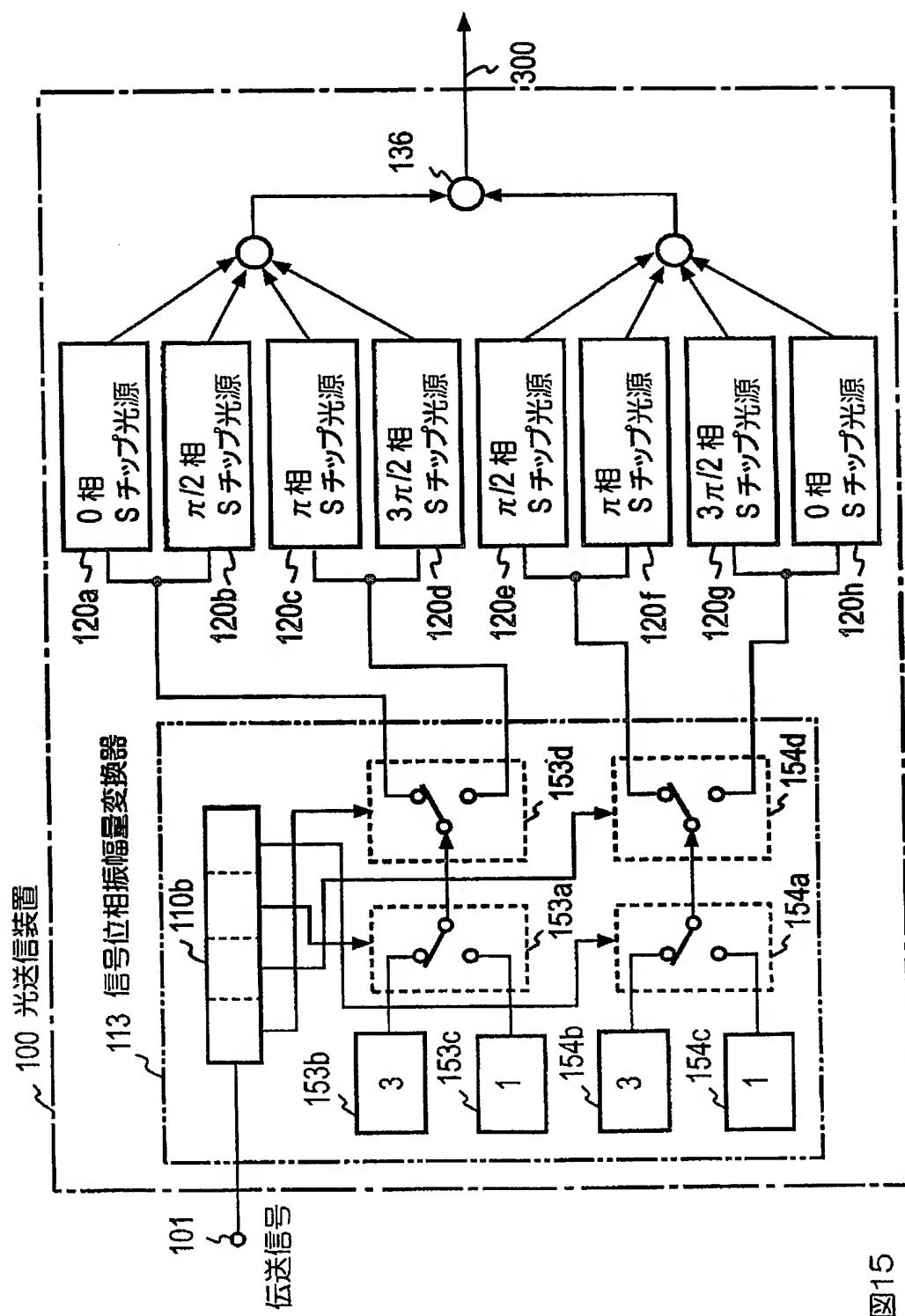


図15

【図16】

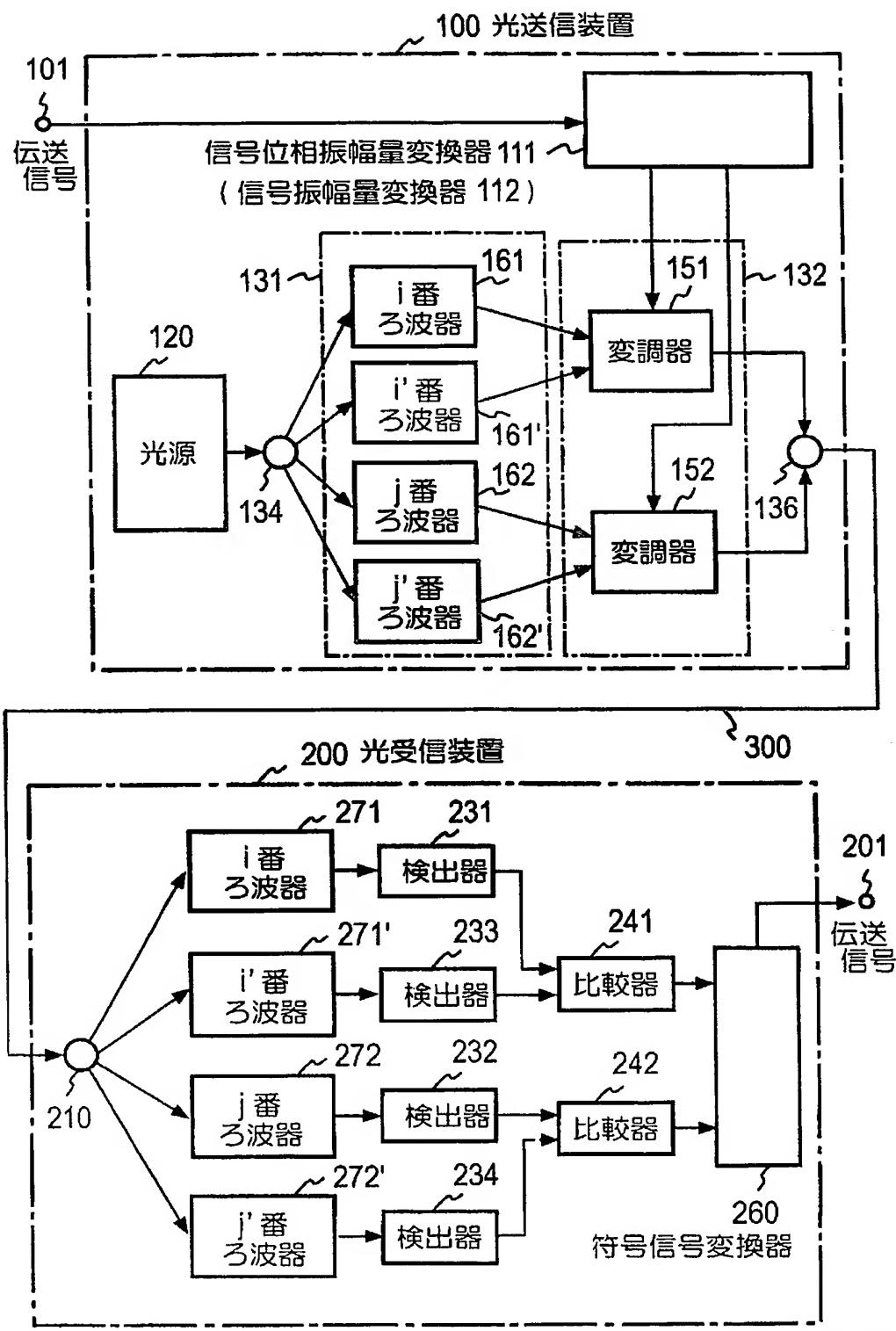


図16

【図17-1】

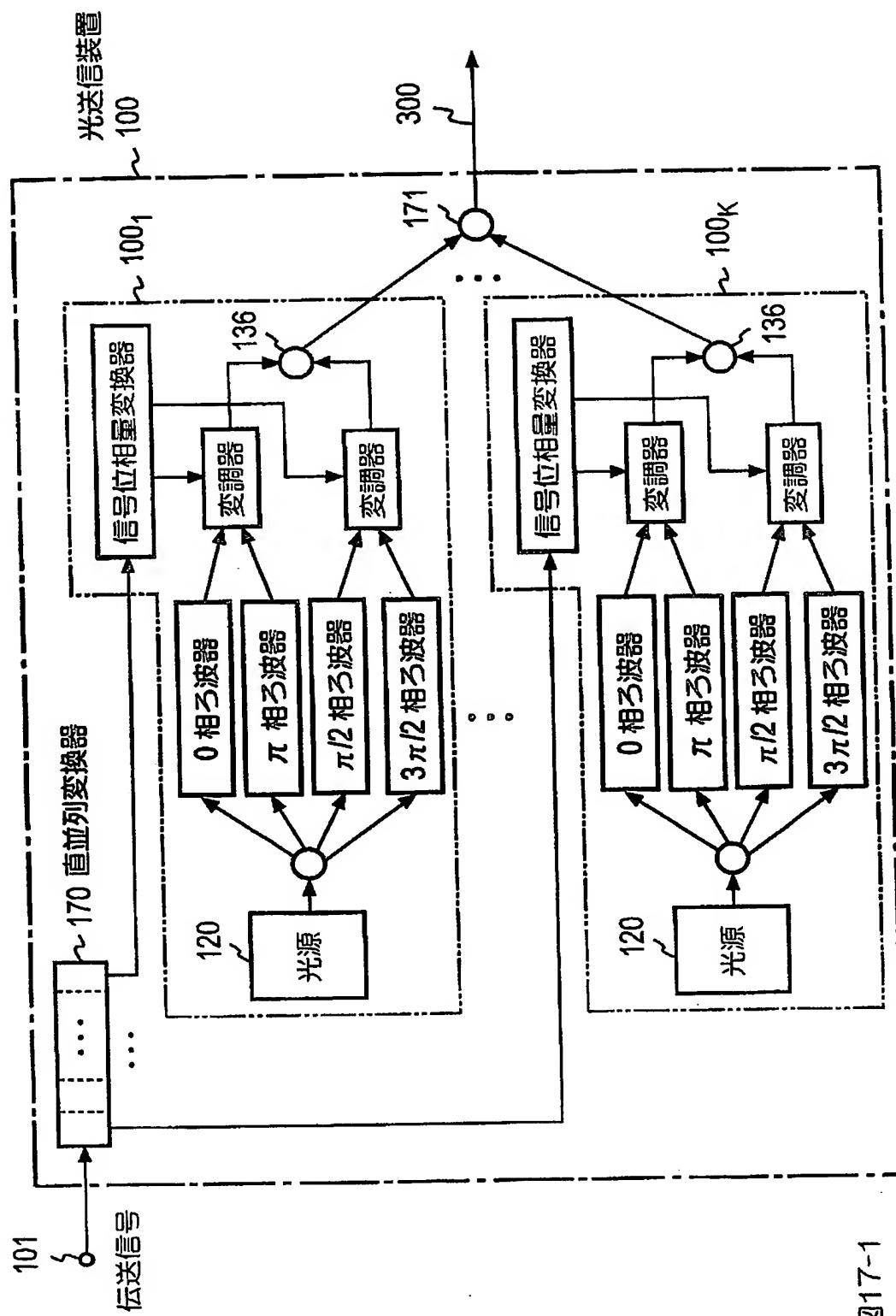
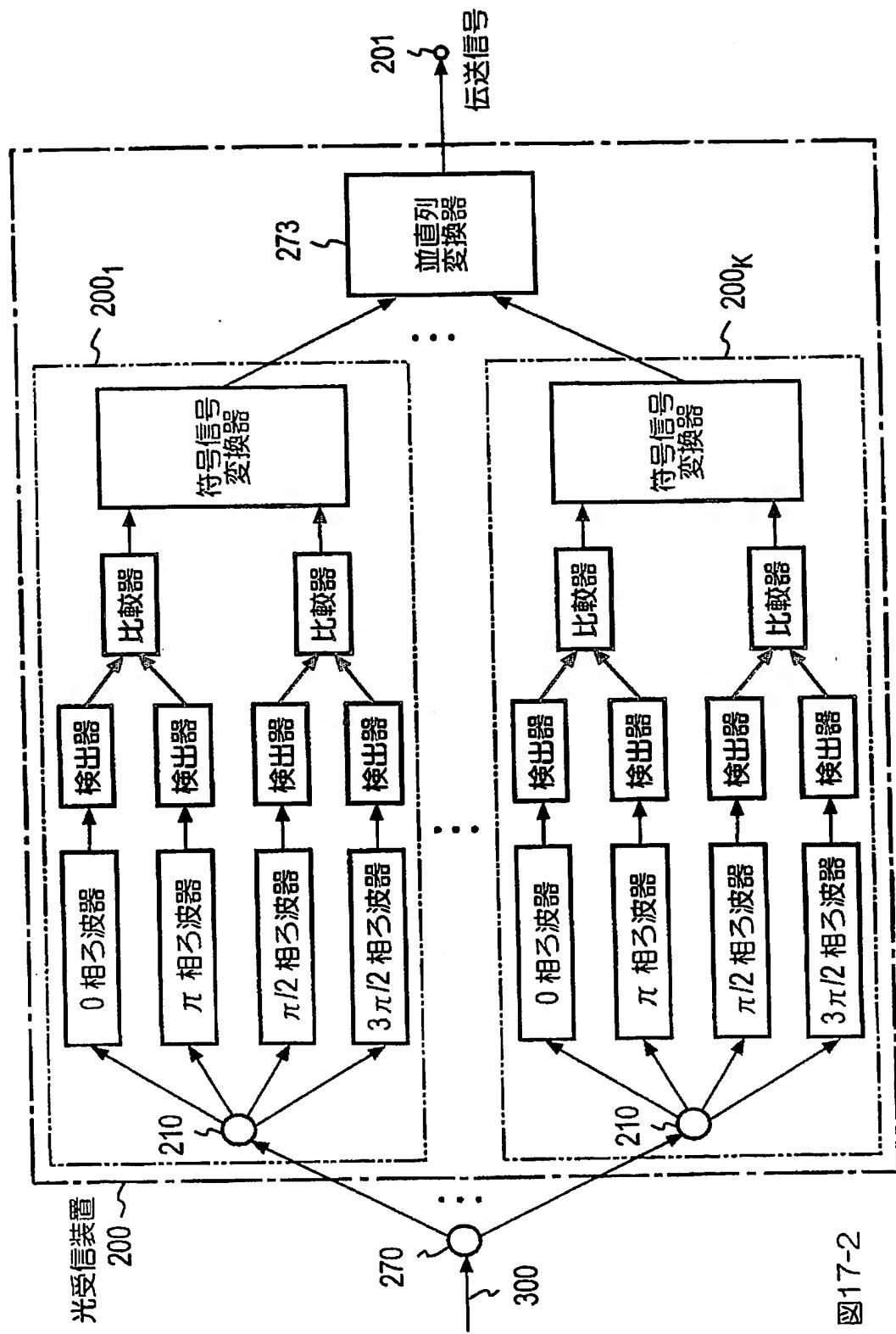


圖 17-1

【図17-2】



【図18】

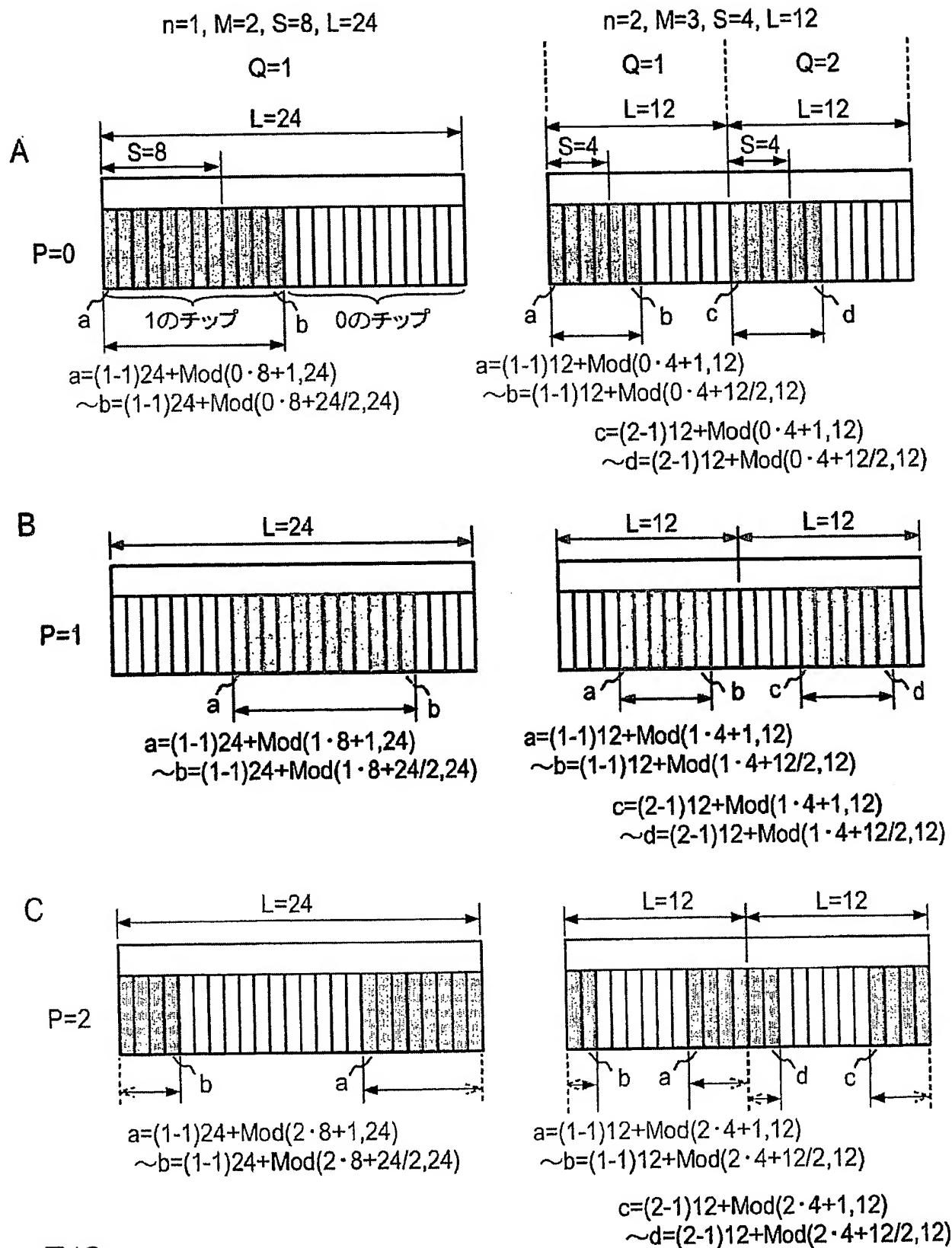


図18

【書類名】要約書

【要約】

【課題】 光通信において、光の波長オーダの制御精度よりも格段と粗い制御精度で擬似的にQPSK変調を可能とする。

【解決手段】 基準光周波数 f_s からの光周波数差 f に対し、光周波数軸上でろ波特性が $(1 + \cos(2\pi f / \text{FSR} + \Theta)) / 2$ (FSR: 光源の波長帯域幅) のろ波器133aと、これに対し位相が $\pi/2$, π , $3\pi/2$ それぞれ特性のろ波器133b, 133c, 133dに光源の光を入力し、データ0, 0でろ波器133a, 133bを、0, 1でろ波器133a, 133dを、1, 0でろ波器133c, 133bを、1, 1でろ波器133c, 133dの透過光を変調器132で選択して光伝送路300へ出力する。受信側でろ波器133a～133dの透過光の強度を検出器231～234で検出し、検出器231と233、232と234の各出力を比較して送信データを復元する。

【選択図】 図5

特願 2003-303234

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.